

Trabajo Fin de Grado

Modernización de la tecnología de obtención de inteligencia en UAS de la Compañía de Infantería

Autor

CAC. D. Pedro Lombardero Monteagudo

Directores

Director académico: Dra. D^a. María Teresa Lozano Albalade

Director militar: Cap. D. José Alberto Sánchez Romero

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2016

AGRADECIMIENTOS

Cómo unos pocos papeles, más allá de albergar el presente trabajo, son capaces de soportar tanto significado...

A mis profesores, que han dotado a mi formación militar del tan necesario cultivo intelectual.

A mis mandos militares, por ilustrarme los valores que conforman un modo de vida.

A los que conmigo emprenden caminos sin horizonte, y que cada día me sirven de rumbo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los UAV según terminología OTAN [1]	6
Figura 2: Izquierda: UAV PASI, derecha: mini-UAV RAVEN B [1] [5]	7
Figura 3: Clasificación de los UAV según el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Visual de los distintos UAV existentes. [2]	7
Figura 4: imágenes de la cámara EO, de izquierda a derecha: poblado, zona de caída de morteros, vehículos y personal militar (Compañía de Inteligencia del Cuartel General de la BRILAT).	9
Figura 5: imágenes de la cámara IR, mostrando personal militar desplegado realizando un asalto a una posición defensiva enemiga (Compañía de Inteligencia del Cuartel General de la BRILAT).	9
Figura 6: Izquierda: Captura mediante cámara óptica; derecha: Captura mediante SAR. [8]	13
Figura 7: (a) Mapa de fase de la medida interferométrica de un escenario. (b) Modelo DEM extraído del mapa de fase una vez georreferenciado. [10]	13
Figura 8: de izquierda a derecha: vertido de barco captado por foto aérea; vertido de barco desde SAR en satélite; captura desde SAR que muestra el vertido e incluso la estela del barco [9, 11].....	14
Figura 9: Funcionamiento de un SAR (emisión-recepción de la onda electromagnética) [9].	14
Figura 10: Espectro de bandas de microondas (www.datateca.unad.edu.co).....	21
Figura 11: Módulos integrados del SAR ARBRES-X [10].....	22
Figura 12: SLCs de banda C. (a)sin MoCo (b)con MoCo. Condiciones de vuelo: 200m altitud, velocidad 37m/s., 40 m. longitud de apertura. [10].....	22
Figura 13: (a) imagen de SAR de banda X. La mejora de la resolución con respecto al SAR de banda C es notable. Condiciones de vuelo: 300m. de altitud, velocidad de 37.35 m/s., 120m. de longitud de apertura. (b) imagen de cámara óptica de referencia [10]. .	22
Figura 14: Diagrama de bloques de un microSAR; el microSAR físicamente y montado sobre un mini-UAV (con las antenas, de tipo plano, integradas en el exterior del fuselaje del aparato). [9].....	23
Figura 15: Diagrama del microSAR tipo FMCW. [12].....	24
Figura 16: El SAR de tipo FMCW con todos sus componentes ya integrados en bloque. [12]	24

Figura 17: Sensor microSAR (EDO. Defense Programs and Technologies).....	25
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características del mini-UAV RAVEN RQ-11B. [5]	8
Tabla 2: Distintos tipos de SAR y sus características técnicas (orientativas) [12].	15
Tabla 3: Características de los SAR FMCW de banda C y banda X [10].	21

LISTA DE ABREVIATURAS

AA:	antiaérea.
AMFE:	análisis modal de fallos y efectos.
BCN:	Bayonet Neill-Concelman.
BIP:	Batallón de Infantería Polivalente.
BRILAT:	Brigada de Infantería Ligera Aerotransportada.
CG:	Cuartel General.
GCS:	Estación de Control de Tierra (Ground Control System).
CMOS:	semiconductor complementario de óxido metálico.
DAFO:	debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades.
MDE:	modelo de elevaciones del terreno.
DGAM:	Dirección General de Armamento y Material.
dm:	decímetros
EO:	electroóptico.
ET:	Ejército de Tierra.
FAS:	Fuerzas Armadas.
FM/CW:	frecuencia modular y onda continua.
ft:	pies.
GHz:	gigahercios.
I+D+i:	investigación, desarrollo e innovación.
in:	pulgadas.
IR:	infrarrojo.
ISTAR:	inteligencia, reconocimiento, adquisición de objetivos y vigilancia.
kg:	kilogramos.
km:	kilómetros.
lbs:	libras.
LNA:	low-noise amplifier.
m:	metros.
mm:	milímetros.
m/s:	metros por segundo.
mW:	miliwatios.
MHz:	megahercios.
MTOW:	peso máximo al despegue.
OTAN:	Organización del Tratado Atlántico Norte.
OV:	operador de vuelo.
QFD:	despliegue funcional de la calidad.
RF:	radiofrecuencia.
RPAS:	remoted piloted aircraft system.
RVT:	Terminal Vídeo Remoto.
SAR:	radar de apertura sintética.
SMA:	sub-miniature versión A.
TFG:	Trabajo Fin de Grado.
TN:	Territorio Nacional.
UAS:	(sistema aéreo no tripulado) unmanned aircraft system.
UAV:	(vehículo aéreo no tripulado) unmanned aircraft vehicle.
UCAS:	sistema aéreo de combate no tripulado.
USA:	United States of América.
W:	watios.
ZO:	Zona de Operaciones.

RESUMEN

El empleo de Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS, del inglés Unmanned Aircraft System) en el marco de las operaciones en el extranjero por parte del Ejército de Tierra español está siendo un éxito. A pesar de haberse advertido varias limitaciones en cuanto a estos medios, las ventajas y capacidades que han otorgado a las acciones llevadas a cabo en Zona de Operaciones han resultado en muchos casos decisivas para la consecución del objetivo de la misión. Los UAS otorgan gran versatilidad a la obtención de inteligencia durante la preparación de una operación, e incluso cubren las necesidades de información temprana durante el acompañamiento de la misma. Sus características han hecho que a día de hoy se conviertan en un medio indispensable, pero la experiencia con ellos en combate ha esclarecido ciertas carencias en cuanto al Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV, del inglés Unmanned Aircraft Vehicle), sobre todo respecto a la tecnología empleada para la obtención de inteligencia, la cual presenta una clara obsolescencia respecto a las más modernas, no obteniéndose todo el rendimiento que se podría. Actualmente este tipo de tecnologías despiertan gran interés en varios campos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), y existen varias que presentan un gran salto generacional respecto a las integradas en los medios UAV del Ejército de Tierra.

Por tanto, el objetivo principal es encontrar una tecnología que, siendo su integración viable, sea capaz de salvar las limitaciones advertidas durante el desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado (TFG), por lo que en primer lugar se estudiarán dichas limitaciones. En base al objetivo principal, se plantea como objetivo secundario que la tecnología seleccionada sea capaz de añadir nuevas capacidades al UAS, dada la importancia en materia de Defensa de permanecer en punta de vanguardia. Finalmente este TFG se centrará en el estudio sobre una posible integración de un Radar de Apertura Sintética (SAR, del inglés Synthetic Aperture Radar) en los UAS de la Compañía de Infantería, ya que ésta tecnología, como se concluye en el presente trabajo, se propone como la óptima para dar solución y satisfacer todos los objetivos marcados.

ABSTRACT

The use of Unmanned Aerial Systems (UAS) in foreign operations carried by Spanish Army has succeeded. Despite of having realized on several limitations in this kind of mediums, the advantages and capabilities, given to the missions in the operations zone, have resulted very important to get the aim of the mission. The UAS give a great versatility in intelligence gathering not only while preparing the operation, but also during the action giving real-time information. Nowadays, their characteristics have made them to be an essential medium. However, the combat experience acquired by using them has shown many needs about the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and its intelligence gathering technology, which has become old-fashioned. Currently, this kind of technology is the aim of many development and innovation investigations, and there also are several new ones that grant a great float with the older ones, used by the Army.

Thus, the main goal is to find a technology that, having a viable integration, could solve the restrictions of the previous ones. Based on the main goal, there will be a secondly goal that consists on having a new technology which could be able to add new capabilities in Army UAS, due to the great importance in being leading the vanguard at

the Defense champ. Finally, this End of Degree Project will focus on a possible integration of a Synthetic Aperture Radar (SAR) onboard the UAS Infantry Company, because this technology, as it is conclude in this project, is considered the most suitable to solve and satisfy all the goals proposed.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABLAS.....	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos y alcance del TFG	1
1.2. Ámbito de aplicación	2
1.3. Metodologías y herramientas.....	2
1.4. Planificación de fases y temporal del TFG.....	3
1.5. Estructura de la memoria	4
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1. Los UAS del Ejército de Tierra	5
2.2. RPAS RAVEN RQ-11B: el UAV de la Compañía de Infantería	7
2.2.1. La tecnología del mini-UAV RAVEN B para obtención de inteligencia	9
2.2.2. Limitaciones del mini-UAV RAVEN B	9
2.2.3. Entrevista a expertos: visión táctica crítica del mini-UAV RAVEN B.....	10
2.3. Medios de obtención de inteligencia en los RPAS	11
2.3.1. Sistema de visión electroóptica	12
2.3.2. Sistema de visión Infrarroja	12
2.3.3. El Radar de Apertura Sintética	12
• El SAR pulsado.....	16
• El SAR de onda continua FMCW.....	16
3. VALORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ÓPTIMA PARA LOS RPAS DEL EJÉRCITO DE TIERRA.....	16
4. PROPUESTA: UN SAR PARA EL MINI-UAV RAVEN B	20
4.1. Viabilidad de integración del SAR en el mini-UAV RAVEN B.....	25
4.2. Problemas que se presentan y posibles soluciones	26
6. CONCLUSIONES	27
7. LÍNEAS FUTURAS.....	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXO A: Calendario de desarrollo del TFG	31

ANEXO B: Diagrama de Gantt. Distribución temporal y dependencias entre las actividades del TFG	33
ANEXO C: Entrevistas a expertos (mini-UAV RAVEN B)	35
ANEXO D: Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la EO, IR y SAR	47
ANEXO E: QFD con las tecnologías EO, IR y SAR.....	49
ANEXO F: AMFE de producto del SAR.....	51

1. INTRODUCCIÓN

La presente memoria recoge el trabajo por el cual se ha estudiado mejorar el servicio que prestan los Sistemas Aéreos Pilotados Remotamente (RPAS, del inglés Remoted Piloted Aircraft System) en el Ejército de Tierra (ET) español, centrándose más concretamente en su empleo a nivel Compañía de Infantería. Estos medios están otorgando gran versatilidad y aportan una gran ventaja durante la conducción de las operaciones. La amplia experiencia que el Ejército ha obtenido en las misiones en el extranjero, así como aquella derivada de la instrucción y adiestramiento en Territorio Nacional, ha manifestado la necesidad de operar hoy en día con sistemas UAV, y de ella se han podido recoger diferentes lecciones aprendidas de cara a mejorar los UAS en las Fuerzas Armadas (FAS) españolas, y por extensión alcanzar una mayor efectividad y eficiencia de sus medios, armamentos y personal.

Cabe resaltar que en la actualidad la mayor parte de la innovación y desarrollo en estos campos está siendo llevada a cabo por empresas civiles, a pesar de que algunas de ellas trabajan ya con objetivos centrados en el ámbito militar, de manera que Defensa tras realizar una vigilancia de la prospectiva tecnológica, y analizando el mercado existente, adquiere aquellas tecnologías que cubren sus necesidades [1] [2].

1.1. Objetivos y alcance del TFG

A pesar que los medios UAV que posee el Ejército de Tierra han supuesto un considerable salto táctico en Zona de Operaciones (ZO) [3], los UAS en la actualidad presentan un desarrollo evolutivo muy rápido, y es fácil que las tecnologías usadas pronto queden obsoletas respecto a las más innovadoras.

Como primera idea, desde la Unidad experta se planteó como TFG dar solución a alguno de los problemas que presentan los UAV en el marco de la Compañía de Infantería. Por ello, la primera etapa del presente TFG se dedicó a la documentación sobre el tema, así como a mantener diversas entrevistas, para poder delimitar más el objetivo. Una vez adquiridos los conocimientos necesarios se propuso como objetivo modernizar los medios de adquisición y obtención de inteligencia de estos UAV, ya que consiguiéndolo se daría solución a las limitaciones más críticas.

Se pretende por tanto, con el presente TFG, realizar una investigación cualitativa de las tecnologías de obtención de inteligencia en los UAS, tanto en la Compañía de Infantería como a nivel civil, para finalmente plantear una respuesta al problema de obsolescencia planteado.

Se establece como objetivo principal en este TFG encontrar una tecnología capaz de salvar las limitaciones, o debilidades (Anexo D: DAFO 1 y DAFO 2) [4], de las tecnologías de adquisición actuales (sistema de visión electro-óptico y sistema de infrarrojo térmico), además de mejorar las características de las mismas. Para ello se pretende realizar primero un análisis del estado del arte, para posteriormente seleccionar aquellas tecnologías que puedan sustituir y mejorar las existentes.

Se establece como objetivo secundario del TFG que la tecnología propuesta sea capaz de aportar una nueva dimensión a la obtención de inteligencia, aportando características que los medios anteriores no tuvieran.

Cumpliendo los objetivos propuestos se obtendría no sólo una mejora de la inteligencia obtenida por los UAS del Ejército de Tierra, si no que permitiría a éste competir con el resto de naciones en potencial de Defensa.

Una vez propuesta una tecnología que alcance todos los objetivos expuestos hasta ahora, se perseguirá, como tercer objetivo del presente trabajo, un estudio cualitativo de viabilidad sobre la integración de dicha tecnología al UAV de la Compañía de Infantería (el mini-UAV RAVEN B), con el fin de confirmar su ventaja sobre las demás.

1.2. Ámbito de aplicación

En el inicio de la investigación se ha partido de los UAS que operan en el marco de la Compañía de Infantería del ET como pilar de estudio. Sin embargo cabe resaltar que, a pesar de ser el mini-UAV RAVEN B el medio en el que se apoya el jefe de la unidad de dicha entidad, este UAV opera enmarcado muchas veces en una red de tres niveles en el espacio aéreo (cubriendo éste el primer nivel, el más bajo) [1], de tal manera que la modernización tecnológica planteada podría ser aplicada también a los niveles superiores, ya que el SAR ofrece cierta versatilidad para poder ser integrado en cualquier plataforma, según las necesidades. Siendo tan amplio el rango de actuación del SAR, se estudiará por extensión su integración a varios niveles, analizando las características que potencialmente en cada uno podría ofrecer.

Aunque el aporte innovador de este TFG sea la posibilidad de integrar un SAR en los medios UAV disponibles en el ET español, la investigación de un SAR en UAV en el campo civil se encuentra bastante más avanzada que en el militar. Sin embargo el problema de integrar un SAR pequeño en un UAV pequeño sigue siendo objeto de estudio, dado los numerosos tipos de medios UAV existentes en la actualidad. Además, los RPAS del Ejército de Tierra necesitan ciertas especificaciones, por el carácter y contexto de sus misiones, que los hacen más restringidos en ciertos ámbitos, pero el estudio y la propuesta en este TFG también podría ser aplicada en RPAS y UAV del ámbito civil.

La propuesta dada en el presente TFG, la integración de un microSAR en los UAS de la Compañía de Infantería, posee gran trascendencia en materia de Defensa, pues no solo conseguiría dar respuesta a las limitaciones que estos medios han mostrado durante su empleo en las operaciones, sino que también salvaría la gran diferencia en desarrollo tecnológico que las FAS españolas presentan en este campo.

1.3. Metodologías y herramientas

El propio TFG se ha realizado mediante una investigación de tipo descriptiva cualitativa, de tal manera que una vez establecida una hipótesis (la necesidad de una mejora en las tecnologías de obtención de inteligencia en los UAS de la Compañía de Infantería del Ejército de Tierra español) se trata de establecer aquellas variables

dependientes, es decir, aquellas susceptibles de ser cambiadas (el UAV o la tecnología de obtención de inteligencia). De este modo se parte de lo general, estudiando unos antecedentes y el estado del arte, para posteriormente ir convergiendo sobre la que resulte dar solución a todos los objetivos que se han establecido en el presente proyecto.

Durante las fases del presente TFG se han utilizado diferentes herramientas a modo de ayuda y sustento a las tareas y procesos realizados en ellas.

Primeramente, para la fase de planificación se ha hecho uso de un diagrama de Gantt (Anexo B). Este tipo de diagrama resulta de gran utilidad para planificar las diferentes fases, actividades e hitos que se han llevado a cabo en este TFG. Esta herramienta además permite representar y esclarecer las dependencias de actividades y operaciones entre sí, de manera que, de forma muy visual, permite realizar un seguimiento de la evolución del proyecto, indicando a tiempo real si se encuentra ajustado, retrasado, o adelantado en el tiempo.

A la hora de plasmar las experiencias y lecciones aprendidas del personal de las Unidades expertas, en el marco de las cuales se ha desarrollado el TFG, se han realizado entrevistas de expertos (Anexo C, y del C1 al C4). Éstas siguen metodologías que permiten dar legitimidad a las mismas y ayudan a escoger el tipo de pregunta necesaria en cada contexto.

A la hora de afrontar la fase de análisis de las tecnologías y posterior propuesta de la que se concluye como más apta para dar solución a la hipótesis planteada en este TFG, se han analizado las tres planteadas primero, con un carácter más general y comparativo, mediante análisis DAFO (Debilidades, Fortalezas, Amenazas y Oportunidades) (Anexo D), y posteriormente de forma más crítica y técnica, mediante un despliegue funcional de la calidad (QFD, del inglés Quality Function Deployment) (Anexo E), de manera que no solamente se obtenga la tecnología óptima, sino que también ayude a traducir los requisitos, a nivel usuario, del producto (la obtención de inteligencia en el mini-UAV RAVEN B) en las especificaciones técnicas necesarias en la tecnología para ello.

Por último, una vez propuesto el producto final a integrar en el mini-UAV RAVEN B (un microSAR adaptado), se utiliza un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) (Anexo F), que permite analizar los posibles problemas que podrían presentar respecto a dicho producto. Al estudiar también soluciones a éstos, los fallos futuros quedan lo más acotados posible, de manera que se reduce notablemente el riesgo y se asegura en mayor parte el éxito del proyecto realizado.

1.4. Planificación de fases y temporal del TFG

La planificación ha sido un factor clave a la hora de afrontar este trabajo y de coordinar las diferentes actividades programadas para su desarrollo. Al depender en varias ocasiones de ciertos hitos marcados por las Unidades expertas, y necesarios para poder desarrollar las primeras fases del trabajo, se ha condicionado en cierta medida el desarrollo del mismo. Sin embargo, finalmente no ha resultado perjudicial pues, al reprogramar esa primera fase del TFG, se pudo suplir ciertas carencias aprovechando las nuevas ventajas que ofrecieron. Fue el caso del apoyo de un equipo RAVEN (del

Cuartel General de la BRILAT “Galicia”), que tras estar solicitado para las semanas de la primera fase del TFG, por motivos relativos a su crítica disposición en las operaciones del ET., finalmente realizó el apoyo al trabajo en la última semana de permanencia con la Unidad experta. Sin embargo, su aportación a la primera fase se suplió incrementando la carga de trabajo en las tareas de documentación y mediante el apoyo de otras unidades y personal experto. Al aportar su apoyo en las últimas fases del trabajo resultó ser un valor añadido como medida de verificación y asentamiento de los objetivos alcanzados, respaldando la aceptación de la tecnología SAR propuesta.

Respecto a la planificación del desarrollo del TFG se ha seguido lo que podría llamarse una doble programación (Anexo A). Mediante una más general, estructurada en su mayoría semanalmente, se marca las líneas restrictivas en el desarrollo y se materializa la carga de trabajo asignada a cada proceso analítico. De este modo quedan delimitadas las fases generales. Una segunda, enmarcada dentro de la anterior a modo de subfases e hitos, restringe aquellas tareas más específicas y críticas, que en muchas ocasiones, como se ha mencionado anteriormente, han limitado la capacidad de evolución del TFG. Éstas últimas subfases han sufrido modificaciones durante el desarrollo del TFG, teniendo que readaptar y reprogramar otras, y por extensión las fases.

Los cambios, aunque no planeados, se trataron desde un primer momento como posibles, de manera que la misma planificación dispone de ciertos márgenes en las diferentes etapas. Finalmente a raíz de los problemas surgidos se ha conseguido sacar cierta ventaja, como se menciona anteriormente, y como consecuencia el desarrollo del TFG no se ha visto críticamente afectado.

En base a esta planificación de procesos y tareas, se ha obtenido una planificación temporal. Para representarla se ha utilizado la herramienta diagrama de Gantt (Anexo B). Éste facilita tanto la visión del desarrollo detallado de las tareas y la dependencia de las mismas, como el seguimiento de la planificación del trabajo, de manera que indica si se está realizando las tareas en tiempo, si tienen un retraso, o si el desarrollo va adelantado.

1.5. Estructura de la memoria

La presente memoria se ha estructurado de manera que refleje el procedimiento seguido durante el desarrollo del TFG. De esta manera se sigue un orden lógico, partiendo de lo general hasta converger sobre la tecnología que se propone como posible solución a la hipótesis planteada.

Primeramente se estudia el estado del arte (apartados 2, 2.1, 2.2 y 2.3), del cual se obtienen las necesidades para lograr los objetivos del TFG.

En el apartado 3 se muestra una valoración mediante la que se escoge la tecnología más apta para conseguir los objetivos primarios y secundarios marcados, y posteriormente se desarrolla un estudio (apartado 4) por el cual se llega a un producto final, y que se presenta como viable para lograr el propósito del presente TFG.

Posteriormente se procede a realizar el análisis de los resultados (apartado 4.1), que recoge las soluciones propuestas y la forma de llegar a ellas, y las conclusiones

(apartado 5), que darán una visión más clara de los logros alcanzados y de los objetivos cumplidos, así como ciertas lecciones aprendidas que surgen durante el desarrollo del TFG.

Finalmente se tratan unas líneas de acción futuras (apartado 6), obtenidas tanto de segundos problemas advertidos durante la investigación, como de las observaciones y lecciones aprendidas expresadas por los expertos entrevistados (apartado 2.2.3).

2. ESTADO DEL ARTE

Dada la finalidad del presente TFG, y de los objetivos establecidos y anteriormente expuestos, surge la necesidad de realizar el análisis del estado del arte de manera que, por un lado se cubra toda necesidad de información de los UAS objeto de estudio, para poder extraer todas las características y limitaciones susceptibles de cambio, y por otro tanto las tecnologías de obtención de inteligencia, que éstos poseen, como las nuevas tecnologías que cubrirían los nuevos requisitos abstraídos del primer análisis del medio UAV.

2.1. Los UAS del Ejército de Tierra

Un UAS es aquel que se compone de uno o más UAV y todos aquellos otros subsistemas necesarios para su correcta operación, tales como: sistemas de control, comunicaciones, medios de lanzamiento y recuperación, etc. [1]; y equipos de apoyo asociados. Es necesario para el desarrollo de este trabajo el conocimiento de las diferentes nomenclaturas de los medios aéreos no tripulados, y las especificaciones de cada uno de ellos.

Como norma general, los UAS están formados por un segmento aéreo y un segmento terreno [1]. El primero lo forman la plataforma aérea, su carga útil, y todos aquellos sistemas que lleve embarcados, ya sean para el control del vuelo, como para el procesamiento o la transmisión de datos. El segundo lo componen aquellos sistemas encargados a, desde tierra, controlar el vuelo de la o las plataformas, recibir, analizar y transmitir la información recibida, y aquellos encargados del lanzamiento y recuperación del UAV.

La definición de UAV, así como las diferentes nomenclaturas usadas para dar nombre a los diferentes conjuntos o plataformas hace tiempo que generan controversia, existiendo algunas más aceptadas generalmente. De este modo, para poder hablar de UAV, se deben recoger varios requisitos: pueden generar fuerzas aerodinámicas para el vuelo, no hay piloto a bordo, son reutilizables o recuperables, pueden volar por control remoto o de forma más o menos autónoma, pueden embarcar cargas de pago (o cargas útiles), y cuentan con un sistema de propulsión propio. Dentro de lo anterior se excluyen: las municiones guiadas, los misiles, los globos sin propulsión propia y los objetos con control de filoguiado sin capacidad autónoma.

El UAS, generalmente, también presenta una serie de componentes o elementos: el vehículo aéreo, la carga de pago, sistema de comunicaciones, estación de control (situada en tierra), equipos de apoyo y de interfaz (con los centros de operaciones).

De este modo, la OTAN les dio el nombre de UAS, pero la denominación más apropiada, y que más se usa en la actualidad es RPAS [1].

Respecto a las clasificaciones de los diferentes tipos de UAS, no existe ninguna universalmente aceptada, ya que varían según la temática a la que atienden. Así surgen clasificaciones según las características físicas del UAV por tamaño, masa, o método de generación de la sustentación; por su misión específica: de combate o de telecomunicaciones; o por el nivel de conducción de las operaciones militares: de tipo Táctico, Operacional o Estratégico. La OTAN ha elaborado su propia clasificación de los diferentes tipos de UAV, con el fin de normalizar la interoperabilidad de sus países integrantes, en función del peso máximo al despegue (MTOW) en kg., tal y como se muestra a continuación en la Figura 1.

CLASIFICACIÓN UAV OTAN				
Clase (MTOW)	Categoría	Empleo	Altitud de operación AGL	Radio de Misión
CLASE I ≤ 150 Kg	MICRO < 2 Kg	Táctico, (Sección)	Hasta 200 pies	5 Km (LOS)
	MINI 2-20 Kg	Táctico (Compañía)	Hasta 1.000 pies	25 Km (LOS)
	LIGEROS > 20 Kg	Táctico (Batallón)	Hasta 1.200 pies	50 Km (LOS)
CLASE II ≤ 600 Kg	TÁCTICO	Táctico (Brigada)	Hasta 10.000 pies	200 Km (LOS)
CLASE III > 600 Kg	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional	Hasta 45.000 pies	Sin Límite (BLOS)
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin Límite (BLOS)
	Combate	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin límite (BLOS)

Figura 1: Clasificación de los UAV según terminología OTAN [1]

En la actualidad, el Ejército de Tierra español dispone de dos tipos de UAV con los que opera en Zona de Operaciones:

- UAV PASI (basado en el MKII-J "Searcher" israelí), de clase II, que opera en el marco del escalón superior de la operación o de la Agrupación Táctica (véase la Figura 2).
- Mini-UAV RAVEN B [5], de clase I, que opera en el marco del la Compañía de Infantería cuando conforma la base de un Subgrupo Táctico para una operación dada (véase la Figura 2).

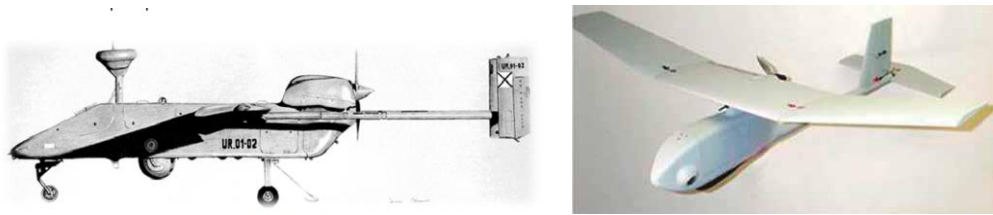


Figura 2: Izquierda: UAV PASI, derecha: mini-UAV RAVEN B [1] [5]

De las anteriores clases y categorías se deriva otra clasificación en grupos, de las Fuerzas Armadas americanas, también muy usada, y en la que se pueden distinguir las diferentes plataformas UAV que actualmente son operadas por los distintos Ejércitos de la OTAN (véase la Figura 3) [2].



Figura 3: Clasificación de los UAV según el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Visual de los distintos UAV existentes. [2]

2.2. RPAS RAVEN RQ-11B: el UAV de la Compañía de Infantería

El RPAS RAVEN RQ-11B es un aparato utilizado como medio de obtención de inteligencia, que es lanzado manualmente [5]. El sistema es capaz de transmitir a tiempo real imágenes de video, fotogramas, e información variada, como rumbo magnético, localización del aparato y del objetivo iluminado, al subsistema que se encuentra en tierra. De este modo actúa en beneficio de la unidad dotándola de capacidad operativa sobre diversas áreas:

- reconocimiento y vigilancia a control remoto,
- protección de tropas,
- seguridad de convoyes,
- adquisición de objetivos,
- valoración de daños.

El UAV puede ser lanzado y recuperado en un corto período de tiempo, sin necesitar de equipos especiales y prácticamente en cualquier tipo de terreno. El sistema incluye dos tipo de cargas útiles: cámara electroóptica (EO) de vista frontal y lateral, y una cámara lateral de infrarrojos (IR) con iluminador láser.

El aparato del sistema RAVEN B está formado por ocho componentes, que son portados en bolsas de transporte. Éstas engloban un UAV, dos baterías, dos cabezas de carga útil y un kit de reparación de campo.

Las características del sistema UAV RAVEN B se recogen en la Tabla 1.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA	
PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Envergadura	1,4 metros
Longitud	0,9 metros
Estructura	Modular de kevlar
Peso (con carga útil)	1,9 kilogramos
Peso de la carga útil	185 gramos
Altitud normal de operación	45 a 300 metros sobre el terreno (AGL: <i>Above Ground Level</i>)
Velocidad de crucero	56 km/h, 26 nudos (KTS, <i>knots</i>)
Alcance	10 km (línea de visión directa)
Velocidad de subida	240 m/min hasta 600 m AGL
Velocidad de giro	90° en 6 segundos
Motor	Eléctrico
Baterías	Recargables de ión-litio
Autonomía	60/90 minutos
Lanzamiento / aterrizaje	Manual / Automático
Temperaturas de operación	-30° a +50° C

Tabla 1: Características del mini-UAV RAVEN RQ-11B. [5]

El sistema UAV además está compuesto de una Estación de Control de Tierra (GCS, del inglés Ground Control System). Ésta es operada por el operador de vuelo, quien desde la misma posee el control del UAV RAVEN B. Esta estación está compuesta por una antena, una caja de operación y un mando de control con pantalla, desde donde puede ver a través de la cámara del aparato en vuelo (así como otros datos relativos a la posición del aparato y al objetivo, y otros de carácter técnico).

Como complemento de los subsistemas dependientes del RPAS Raven, existe también el Terminal de Vídeo Remoto (RVT, del inglés Remoted Video Terminal). Éste permite el seguimiento de la maniobra del UAV, monitorizando la imagen adquirida. Éste RVT se suele proporcionar a los jefes de las unidades de maniobra, para que puedan estar recibiendo a tiempo real, de tal manera que les proporcione inteligencia temprana. Para poder ejercer su voluntad sobre la inteligencia obtenida por el UAV no disponen de control directo sobre éste, pudiendo únicamente permanecer enlazados vía radio con el operador de vuelo para que corrija la trayectoria o la misión encomendada al UAV.

Los UAV son difíciles de detectar, si son empleados de forma correcta, e incluso una vez detectados es difícil dañarlos o destruirlos. Esto se debe a su pequeño tamaño, y sobre todo a su escasa firma térmica y radar, haciendo casi imposible ser destruidos por sistemas antiaéreos (AA), siendo la mayor amenaza el armamento ligero [5].

2.2.1. La tecnología del mini-UAV RAVEN B para obtención de inteligencia

El sistema de visión EO se basa en una cámara digital de visión óptica, tanto frontal como lateral, con una pequeña capacidad de movimiento en azimuth, elevación y zoom. De este modo la cámara puede estabilizarse de manera automática, siendo posible operar con cualquiera de los niveles de zoom [5]. La calidad y nitidez de imagen que posee se puede apreciar en la Figura 4.



Figura 4: imágenes de la cámara EO, de izquierda a derecha: poblado, zona de caída de morteros, vehículos y personal militar (Compañía de Inteligencia del Cuartel General de la BRILAT).

La cámara de visión IR integra un iluminador láser de tipo infrarrojo térmico, que permite la selección de polaridad blanco-caliente o negro-caliente. Éste cambio de polaridad es útil para mostrar una mayor calidad de imagen en aquellas franjas horarias en las que se producen cambios de temperatura (al amanecer y anochecer) y cambios de densidad en el aire. Proporciona así una imagen, tal y como se ve en la Figura 5 que recoge la firma térmica de todo aquello que ilumina [5].



Figura 5: imágenes de la cámara IR, mostrando personal militar desplegado realizando un asalto a una posición defensiva enemiga (Compañía de Inteligencia del Cuartel General de la BRILAT).

2.2.2. Limitaciones del mini-UAV RAVEN B

El UAV ha de ser lanzado en las inmediaciones de la GCS [5], debiendo mantener línea de visión directa con ella durante su misión para que sea posible su control. Es por ello que en muchas ocasiones se opera con dos GCS, de tal manera que la primera se encuentre oculta de la vista del enemigo, y la segunda esté más alejada para que se

pueda continuar la conducción del UAV, actuando a modo de relé. De este modo se consigue realizar el lanzamiento del UAV RAVEN B a cubierto, ya que esta acción es una de las más críticas en el empleo de este medio.

El terreno es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de utilizar medios UAV, tanto en el propio sistema como en el mando y control. Uno de los requisitos más importantes es que el aparato ha de tener línea de visión directa con el resto del sistema, ya que no solo es crucial para la transmisión de la inteligencia que esté obteniendo, si no también para la conducción del aparato. En caso de perder el enlace con la unidad de control, el sistema cuenta con una medida de seguridad, de tal manera que el UAV al cabo de un tiempo restringido volvería a las coordenadas de toma de tierra, que coincidirían, si no se le ordenan otras, con aquellas donde el UAV ha sido puesto en funcionamiento y lanzado. Por lo tanto, a la hora de encomendarle una misión hay que tener en cuenta esto, siendo crucial asignarle una altura de seguridad para paliar las pérdidas de altura del aparato mientras se encuentra en modo autónomo.

Por otra parte, el RPAS RAVEN B, con los medios disponibles de visión, no posee capacidad de captar imágenes en terrenos que presenten ciertos tipos de vegetación, ya que ninguno tiene la capacidad de traspasar capas de sustratos de pequeña densidad.

Otro inconveniente es que, durante el manejo del UAV por parte del piloto, se hace difícil distinguir ciertos accidentes del terreno, tales como vaguadas o salientes, debido a que la imagen captada es en 2D.

Además, tanto la cámara de visión EO como la de IR no presentan un grado de resolución destacable, tal y como se aprecia en la Figura 4 y la Figura 5, de manera que la imagen adquirida no es lo suficientemente nítida para la ejecución de ciertas misiones, incluso alcanzando una menor calidad de imagen cuando las condiciones meteorológicas no son del todo favorables.

En cuanto a la meteorología, tanto las precipitaciones, como el viento, la niebla, las nubes bajas, la densidad del aire por las temperaturas extremas, disminuyen las capacidades del UAV tanto en el vuelo como en la imagen captada. Por otra parte, el que el mini-UAV RAVEN B no sea impermeable hace prohibitivo su vuelo bajo cualquier tipo de precipitación (lluvia o nieve).

En el marco de las operaciones en el extranjero se ha advertido que el uso de UAV combinado con los medios de morteros para la dirección de fuegos indirectos ha dado un gran resultado [3]. Sin embargo, tanto en Zona de Operaciones como en Territorio Nacional se han advertido ciertas carencias de estos medios. Por lo general, sobre todo en Territorio Nacional al existir medidas de seguridad restrictivas, el UAV RAVEN no puede realizar vuelos cerca de la zona de caída de morteros. Es por ello que al acercarse a evaluar los impactos y los daños tras la acción de fuego, es difícil saber qué impactos corresponden a dicha acción.

2.2.3. Entrevista a expertos: visión táctica crítica del mini-UAV RAVEN B

Durante la fase de documentación del presente Trabajo Fin de Grado se ha mantenido contacto con personal experto en operar con mini-UAV RAVEN B. Estos expertos son, por un lado, cuadros de mando del Ejército de Tierra que mantuvieron un estrecho

contacto con el medio UAV especificado en Zona de Operaciones, obteniendo conclusiones fruto de la experiencia personal en acciones y misiones reales. Por otro lado, se contó con el apoyo de una unidad de equipo RAVEN durante el ejercicio táctico de instrucción "Alfa Reunidas" del BIP II/3 "Toledo" en el Campo de Maniobras y Tiro Renedo-Cabezón (Valladolid). El personal integrante de este equipo RAVEN (lanzador, piloto, y jefe de equipo) posee gran experiencia en el empleo del medio UAV RAVEN, tras participar en varias misiones en el extranjero y en gran cantidad de colaboraciones con otras unidades en Territorio Nacional.

Con el fin de recoger la mayor información posible, de una forma precisa y objetiva, para poder apoyar y sustentar la realización del presente trabajo, se ha procedido a elaborar una entrevista documentada a los expertos mencionados [6]. Para ello se han elaborado dos documentos. El primero (Anexo C) se trata de una entrevista de tipo semiestructurada, en la que, tras recabar los datos necesarios del encuestado, se procede a realizar seis respuestas de tipo cualitativas y abiertas, pero con carácter acotado; dos cualitativas y abiertas; y cinco de tipo cuantitativo de respuesta numérica múltiple.

El segundo, es un documento informativo acerca de la tecnología SAR, de manera que el entrevistado pudiera elaborar su opinión personal, sobre el potencial y capacidades de un SAR. De este modo el entrevistado, desde su punto de vista de experto con respecto a las tecnologías de obtención de inteligencia del mini-UAV RAVEN B, tiene la posibilidad de valorar si la integración de la nueva tecnología superaría o no las expectativas de las que este medio ya utiliza.

De este modo, tras contactar con los expertos destinados en la Unidad en la que se han elaborado las primeras fases del TFG (Regimiento de Infantería Ligera Príncipe nº 3) y en la unidad RAVEN de la Compañía de Inteligencia del Cuartel General de la BRILAT, se ha procedido a realizar las diferentes entrevistas, que se recogen en el Anexo C (del C1 al C4).

Como resultado de estas entrevistas, se han podido extraer diversas lecciones aprendidas y limitaciones advertidas en el empleo y funcionamiento del mini-UAV RAVEN B, que han servido para delimitar los objetivos del presente TFG. Además, la tecnología SAR ha resultado de gran aceptación entre los expertos entrevistados, confirmando que la integración de un SAR como medio de obtención de inteligencia aportaría un cambio favorable.

2.3. Medios de obtención de inteligencia en los RPAS

Los medios y tecnologías en la actualidad están muy avanzados en relación al objeto de estudio del presente TFG. Sin embargo hasta hace poco no se conocían nuevas tecnologías de adquisición de imagen e información, sino que las existentes iban evolucionando en las que reciben el nombre de nuevas generaciones, que no son más que versiones mejoradas de sus antecesoras. Como el estudio que se realiza en este trabajo se focaliza en las tecnologías de obtención de inteligencia, siendo de primera necesidad que capten imágenes sobre el objetivo iluminado, la variedad de estas tecnologías se reduce mucho. Una novedad surgida hace relativamente poco tiempo es el Radar de Apertura Sintética (SAR), que no solamente mejora la calidad de la imagen

captada, sino que aporta un salto dimensional en la adquisición de objetivos y obtención de información.

2.3.1. Sistema de visión electroóptica

Siendo una de las primeras tecnologías desarrolladas, el sistema de visión EO se ha mantenido en vanguardia del mercado, dada la extrema necesidad, de los medios que la operan, de obtener imágenes de fácil comprensión visual sobre el objetivo deseado.

La evolución de esta tecnología se limita a mejorar la resolución de la imagen y el zoom de la cámara, de manera que cada vez es más factible lograr una imagen de gran nitidez, con un zoom muy ampliado, y desde una distancia al objetivo que incluso permite al aparato que monta dicha tecnología no ser detectado.

Otra línea de mejora de este tipo de cámaras es la capacidad de variación tanto en orientación, como en elevación y azimut, de manera que la visión sobre el objetivo es totalmente independiente de la trayectoria del RPAS sobre el que esté montada.

Las demás tecnologías surgidas hasta el momento, como la visión IR o térmica, generalmente se utilizan para complementar a la EO, supliendo sus limitaciones en cuanto a la necesidad de ser operada en tiempo claro (de día), o para la detección de ciertos objetivos ocultos a la visión óptica.

2.3.2. Sistema de visión Infrarroja

Al igual que el anterior, este medio de visión ha experimentado grandes mejoras. Hasta ahora la tecnología IR térmica aportaba una clara ventaja operando en modo oscuro (de noche, o con escasa luminosidad), teniendo la posibilidad de cambiar de Blanco Caliente a Negro Caliente y de operar, generalmente, en dos campos de visión (como dos modos de zoom, uno de mayor apertura y otro de menor).

El principal desarrollo evolutivo que muestran las nuevas generaciones de este tipo de tecnología es la mejora en la resolución de la imagen a mayores aumentos de zoom.

También se ha conseguido desarrollar cámaras que combinan tecnología de visión térmica, con tecnología de visión nocturna, de manera que en aquellas zonas en las que una no es capaz de iluminar al objetivo se complementa con la otra, obteniendo una imagen mejorada fruto de la combinación de ambas [7].

2.3.3. El Radar de Apertura Sintética

El SAR es un sensor que permite generar imágenes de la zona que ilumina [8]. Es un sistema activo, y por lo tanto puede operar tanto de día como de noche, a diferencia de los sensores ópticos, que dependen de una fuente de iluminación. Por otra parte, la señal emitida se encuentra en la banda del espectro de las microondas, lo que le permite operar con cualquier condición de humedad o nubosidad de la atmósfera. Incluso es capaz de atravesar cierto grosor de capa del terreno, dependiendo de la naturaleza de éste. Además, la tecnología puede ser adaptada a medida a otras aplicaciones según

necesidades. En la Figura 6 se pueden apreciar a simple vista algunas de las capacidades de un SAR.



Figura 6: Izquierda: Captura mediante cámara óptica; derecha: Captura mediante SAR. [8]

El SAR posee las siguientes ventajas:

- Capacidad de operar independientemente de las condiciones meteorológicas.
- Capacidad de operar en modo claro y modo oscuro.
- Capacidad de operar en distintas bandas sobre una misma escena.
- Detección de blancos móviles.
- Interferometría.
- Polarimetría.

El SAR, por tanto, ofrece la capacidad de penetrar materiales que son visualmente opacos, y por ello no visibles mediante técnicas ópticas o infrarrojas [9]. Los SAR de baja frecuencia pueden ser usados bajo ciertas condiciones para penetrar follaje o incluso el terreno. Esto da la capacidad para mostrar objetivos que se encuentren ocultos por árboles, arbustos o incluso bajo tierra. Para presentar estas capacidades, el SAR debe operar desde décimas de MHz hasta 1 GHz.

También es capaz de monitorizar diferentes parámetros geofísicos y biofísicos, tales como daños por terremotos, creación de modelos del terreno, deforestaciones, valoración del impacto de incendios, producción de un modelo digital de elevaciones (MDE), etc. [10]. Algunas de estas características se muestran en la Figura 7 y la Figura 8.

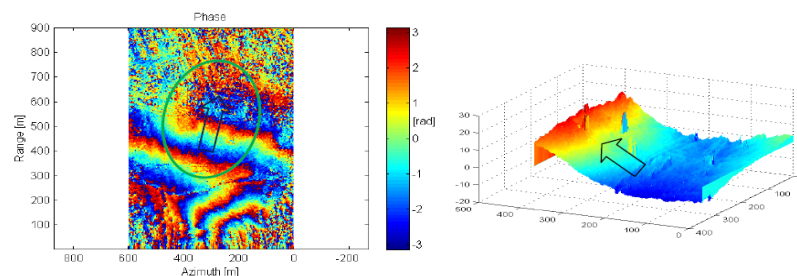


Figura 7: (a) Mapa de fase de la medida interferométrica de un escenario. (b) Modelo DEM extraído del mapa de fase una vez georreferenciado. [10]

capacidad de captar las alturas de cada uno de los puntos o zonas permite realizar un mapeo del terreno, mostrando una imagen que refleje las tres dimensiones.

Son numerosos los ejemplos de SAR que actualmente existen y operan, como por ejemplo: SIR-C/X-SAR, AIR-SAR (NASA), STAR-3i, BYU-SAR (BYU), YSAR e YINSAR. En la Tabla 2 se muestran las características orientativas que les diferencian.

System/ Parameters	X-SAR	AIR-SAR	STAR-3i	BYUSAR	YSAR	YINSAR	BY'SAR
Center Frequency (GHz)	9.6	0.45, 1.26, 5.31	9.57	10	2.1	9.9	9.9
Resolution (m x m)	25x25	7.5-1.9	2.5-10	2.5x0.45	0.8x0.8	1x0.5	1x0.2
Platform Velocity (m/s)	N/A	231	200	168	N/A	60	60
Swath Width (m)	(20-70)k	(10-17)k	10k	N/A	600	300-600	300-600
Elevation (m)	225k	8k	(6-12)k	N/A	305-610	305-600	305-600
Transmit Power (W)	1.4k	(1-6)k	N/A	1	N/A	10	0.001
System Power (W)	(3-9)k	N/A	N/A	N/A	N/A	600	12
Imaging Rate (km ² =min)	17,000	235	100	N/A	N/A	2.16	2.16
Weight (lbs)	24,250	N/A	N/A	N/A	360	150	10
Cost (\$)	N/A	10M	30M	70k	N/A	200k	20k
Processing	Post	Realtime	Post	Near Real	Post	Post	Post

Tabla 2: Distintos tipos de SAR y sus características técnicas (orientativas) [12].

Los SAR tienen la capacidad de detectar objetos metálicos que no son fácilmente apreciables con los sensores ópticos o infrarrojos [9]. Esto es lo que hace que el NanoSAR sea capaz de adquirir pequeños oleajes en el mar o vehículos camuflados, a pesar de las nubes o la niebla. Además la tecnología del circuito que posee el NanoSAR es más barata que la del SAR estándar.

Los SAR creados para ser integrados en UAV presentan un bajo coste económico con respecto a tecnologías análogas, y se han desarrollado ya varios tipos de SAR para tales proyectos: nanoSAR (ImSAR Co., Springville, UT, USA), microASAR (Artemis, Inc., Hauppauge, NY, USA) and miniSAR (Sandia Nat. Labs, Albuquerque, NM, USA) [9]; de tal manera que cada uno de ellos satisface las críticas restricciones que presentan los medios UAV, como robustez, peso (carga de pago), o consumo energético.

- ***El SAR pulsado***

Esta categoría de SAR es la más común y desarrollada hasta el momento. Nacida para su integración en Satélites, el tamaño del SAR y de su antena integrada son de gran tamaño, de manera que es capaz de operar con una onda microonda del orden de bandas S y L. de esta manera son capaces de desarrollar al completo las funcionalidades del SAR explicadas anteriormente en el apartado 2.3.3.

Sin embargo, pierden la versatilidad que les daría ser montadas sobre un UAV, ya que las cargas de pago que utilizan son prohibitivas en este tipo de medios.

- ***El SAR de onda continua FMCW***

Los UAV más recientes poseen un tamaño de menos de 1 m³, dándoles mayor versatilidad, y existen mayores demandas de imágenes de alta resolución [13] [11]. Para satisfacer esto, se requiere desarrollar un transmisor SAR con menos de 300 mW. De potencia de consumo, menos de 10 mm³ de tamaño, y menos de 20 cm de resolución, resultando un sistema SAR con una baja carga de pago para los mini-UAV.

Siendo el SAR una tecnología capaz de crear imágenes de alta resolución, la frecuencia modulada y onda continua (FMCW, del inglés Frequency-Modulated Continuous-Wave) es una técnica utilizada en muchos sistemas radar para obtener una alta compresión de pulso y grandes procesamientos de ganancias. Se usa FMCW cuando se requiere reducir la complejidad y el coste del sistema, ya que es una onda continua (CW, del inglés Continuous-Wave) y de frecuencia modulada (FM, del inglés Frequency-Modulated). Los sistemas FMCW generalmente tienen un periodo largo, del orden de 1 a 10 m., cuando los sistemas pulsados tienen periodos del orden de 1 microsegundo.

La señal resultante de un sistema FMCW es la superposición de señales sinusoidales, de tal manera que mediante la transformada de Fourier resulta una única senoide de función delta.

3. VALORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ÓPTIMA PARA LOS RPAS DEL EJÉRCITO DE TIERRA

Cabe resaltar que el objeto de estudio de este TFG es la tecnología de obtención del mini-UAV RAVEN B, pero actualmente este medio UAV presenta una obsolescencia tecnológica respecto a los existentes en el mercado actual, dirigidos a Defensa, y ya hace tiempo el Ministerio de Defensa, más concretamente la Dirección de Armamento y Material de Defensa (DGAM), está llevando a cabo el programa de adquisición RAPAZ, para sustituir los UAS que actualmente operan en las Fuerzas Armadas a todos los niveles, aunque presentarían las mismas tecnologías de obtención de inteligencia. Por ello, al ser posible instalar una mayor carga de pago en ellos, cabría la posibilidad de integrar también SAR pulsados. Por ello en el presente TFG se estudian ambos tipos de SAR, aunque se orienta el esfuerzo de la investigación sobre la mejora de los medios del mini-UAV RAVEN B.

Los SAR, como sensores que utilizan ondas microondas, presentan una clara posición ventajosa respecto a otros sensores para crear imágenes [12]. El SAR es elegido entre otros por su capacidad de penetrar tanto la atmósfera como el suelo, por su rango de medición preciso, y por la alta resolución de imágenes que además poseen detección de altura. Las imágenes son capaces de obtener una gran cantidad de información.

Las microondas presentan tres ventajas clave frente a los sensores ópticos. Primero, pueden atravesar lluvia, niebla, humo, y nubes; segundo, no dependen de la iluminación del Sol; y tercero, son capaces de penetrar vegetación y distintos tipos de suelos.

Los pequeños SAR serían capaces de proporcionar a pequeños UAV la capacidad de operar con la existencia de nubes, niebla, lluvia, tormentas de arena y otras condiciones que harían imposible hacerlo con medios de sensores ópticos o infrarrojos [9].

A modo de primera comparativa entre estas tres tecnologías (visión EO, visión IR, y SAR), se ha realizado un análisis DAFO de cada una de ellas, de manera que de forma más visual se puedan contrastar sus fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades. (Anexo D: DAFO 1, DAFO 2 y DAFO 3). Estas características son las siguientes:

La tecnología EO:

- Debilidades:
 - La utilización de redes miméticas y otros elementos similares limitan su efectividad.
 - No pueden penetrar nieblas o humos aunque sean ligeros.
 - Limitado por el terreno o la vegetación.
 - Limitado a horas diurnas.
- Fortalezas:
 - Proporciona una vista familiar del escenario.
 - Buena resolución de imagen, contando, además, con tres niveles de zoom.
 - Facilita el análisis de las imágenes.
 - Gran campo de visión.
- Amenazas:
 - Cambio características enemigo en futuro (mayor capacidad militar, medios AA, etc.).
 - Obsolescencia temprana (rápido avance tecnológico).
 - Medios IR con imágenes de alta resolución.
- Oportunidades:
 - Carácter conjunto-combinado de las operaciones (no competitividad de mercado).
 - Enemigo actual asimétrico (no amenaza enemiga sobre estos medios).

La tecnología IR:

- Debilidades:

- Pierde efectividad durante el cambio térmico diario (1 ó 1,5 horas después del amanecer y el anochecer).
- El mal tiempo degrada su calidad.
- Fortalezas:
 - Efectivo contra e camuflaje.
 - Puede ser utilizado durante el día y la noche.
- Amenazas:
 - Cambio características enemigo en futuro (mayor capacidad militar, medios AA, etc.).
 - Obsolescencia temprana.
 - Aparición de nuevas tecnologías radar.
- Oportunidades:
 - Carácter conjunto-combinado de las operaciones (no competitividad de mercado).
 - Enemigo actual asimétrico (no amenaza enemiga sobre estos medios).

La tecnología SAR:

- Debilidades:
 - Necesidad de crear un producto nuevo.
 - Pérdida de propiedades de interferometría si se disminuye mucho el tamaño del sar las antenas empleadas (miniSAR y microSAR).
 - Pérdida de poder de penetración a medida que se incrementa la banda y las longitudes de onda (microSAR).
- Fortalezas:
 - Capacidad de operar independientemente de las condiciones meteorológicas.
 - Capacidad de operar en modo claro y modo oscuro.
 - Capacidad de operar en distintas bandas sobre una misma escena.
 - Detección de blancos móviles.
 - Interferometría y polarimetría.
- Amenazas:
 - Cambio características enemigo en futuro (mayor capacidad militar, medios AA, etc.).
- Oportunidades:
 - Carácter conjunto-combinado de las operaciones (no competitividad de mercado).
 - Enemigo actual asimétrico.

Respecto a la visión EO y a la visión IR térmica, sus fortalezas, como características positivas de la tecnología a nivel interno, y debilidades, como características negativas de la tecnología a nivel interno, han sido extraídas de los análisis realizados en [4], pues tras ser contrastados con otros documentos ([1] [2] [3]) se ha podido observar que éstas

sintetizan de manera clara y concisa la información que demanda los análisis DAFO. Para sintetizar y concluir las amenazas, como características negativas a nivel externo (respecto al mercado en el que compiten), y las oportunidades, como características positivas a nivel externo, se ha analizado la diferente información de los documentos mencionados en el presente párrafo.

Respecto al DAFO 3, que analiza la tecnología SAR, se ha analizado aquella información presente en [8], [9] y [10], concluyéndose las debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades ligadas a este tipo de radares.

Realizados los anteriores análisis, la valoración acerca de la tecnología óptima para los RPAS del Ejército de Tierra se decanta hacia el SAR, sin embargo para poder llegar a una conclusión final se realiza una comparativa más exhaustiva.

Para una comparación más exhaustiva de las tres tecnologías, se ha utilizado como herramienta un Despliegue Funcional de la Calidad (QFD) (Anexo E) [14]. Ha sido de gran ayuda en su elaboración las entrevistas a expertos, sobre todo en la aportación de tipo cuantitativa en uno de los conjuntos de preguntas. Mediante esta herramienta se ofrece un estudio comparativo detallado, a la vez que se facilita la traducción de los requisitos de los usuarios en las características técnicas que deben poseer las tecnologías, mostrando también aquellos factores que conviene cambiar o mejorar para sacarle el mayor provecho y mejorar la tecnología deseada. Además, la herramienta se utiliza también para obtener una discriminación final de la tecnología óptima a integrar en los mini-UAV de las Compañías de Infantería.

En relación a los resultados obtenidos y los diferentes campos de la QFD, se obtienen las siguientes observaciones y conclusiones:

Cumplimentación de datos en la QFD:

- Los "QUÉS" han sido sintetizados de los requisitos, limitaciones y propuestas extraídas tanto de los manuales y documentos doctrinales [5] [3] [4], como de las entrevistas efectuadas a expertos en el presente TFG.
- Los "CÓMOS", traducción técnica de los "QUÉS", han sido deducidos tras estudios realizados para el presente TFG.
- En todos los valores numéricos, por tratarse de tecnologías con diferentes técnicas, se han utilizado cuantificaciones cualitativas, con rangos del 1 al 5 (siendo el 1 el valor más negativo, y el 5 el más positivo).

Resultados de la QFD:

- Se observa que el orden de importancia de los "QUÉS" corresponde con la opinión de expertos extraída de las lecciones aprendidas en operaciones, y de las entrevistas personales.
- Se observa que el orden de importancia de los "CÓMOS" guarda coherencia con respecto al orden de importancia de los "QUÉS".
- En cuanto al orden de importancia de ambos se extrae que, para escoger la tecnología a integrar como mejora de los medios de obtención de inteligencia en el mini-UAV RAVEN B, se ha de elegir una tecnología capaz de obtener imágenes e información independientemente de la meteorología, así como que muestre versatilidad en la inteligencia recogida, siendo una gran restricción, por limitación del aparato UAV, la carga de pago.

- La tecnología SAR demuestra ser la óptima tras la comparativa, presentando una ventaja notable respecto a las otras (EO e IR).
- En cuanto a la mejora o rediseño del SAR, obteniéndose un microSAR capaz de integrarse en un mini-UAV RAVEN B, el objetivo es reducir la carga de pago del producto de manera que se mantengan el resto de características técnicas. Se asume el riesgo de que la capacidad de penetración de la onda electromagnética emitida disminuya en un cierto orden (limitación de poder atravesar capas de objetos de media densidad, como por ejemplo vegetación).

Dado lo expuesto en el Apartado 2.3.3: El radar de apertura sintética, y tal como se viene concluyendo en el presente trabajo, parece que sería posible integrar un SAR en el mini-UAV RAVEN B, ya que bastaría con variar el ancho de banda y la longitud de onda de la señal electromagnética, para conseguir reducir el tamaño, y por extensión la carga de pago, del módulo de dicho SAR. Las propiedades del SAR, al disminuir la calidad de la onda electromagnética, se podrían ver afectadas, sin embargo la ventaja competitiva de esta tecnología frente a las otras dos estudiadas seguiría siendo superior.

4. PROPUESTA: UN SAR PARA EL MINI-UAV RAVEN B

Se han estudiado diversas tecnologías como posible mejora de los medios de obtención de inteligencia de los UAS usados en la Compañía de Infantería, y tras los análisis realizados en el Apartado 3: Valoración de la tecnología óptima para los RPAS del Ejército de Tierra, se elige como la más cualificada el SAR.

Existen varios tipos de SAR que se podrían integrar actualmente en los mini-UAV utilizados por las Compañías de Infantería. Entre ellos se encuentran sistemas complejos de SAR pulsados, y los SAR de FMCW. Los primeros presentan mayor potencia y requieren mayor transmisión de datos, y por ello tienen mayor tamaño. Por ello podrían ser integrados en UAV de Clase I, pero en aquellos que soporten cierta carga de pago, alrededor de 1 kg. [9]. Este requisito excede la carga de pago del mini-UAV RAVEN B (de 185 gramos máximo). Sin embargo los SAR de FMCW tienen menor cantidad de vatios y de capacidad de procesado, por lo que podrían ser integrados en el UAV objeto de estudio. Éstos SAR precisan de una antena de alta frecuencia, de banda Ku de 15 GHz o superior, de tal manera que se minimizaría su tamaño y se podría integrar en el RAVEN con resultados satisfactorios. Sin embargo esto implicaría adquirir un tipo de imagen superficial, perdiendo la capacidad de atravesar superficies de baja densidad, tales como vegetación (por ejemplo árboles). A continuación se realiza el análisis de diferentes casos, de manera que se advierte la evolución en los diferentes SAR, disminuyendo su carga de pago en función de la variación de la banda en la que operan. Las diferentes bandas y longitudes de onda correspondientes a cada tipo de onda electromagnética, del espectro de las microondas, se muestran en la Figura 10.

Banda	frec. mínima	frec. máxima	λ máxima	λ mínima
L	1 GHz	2 GHz	30 cm	15 cm
S	2 GHz	4 GHz	15 cm	7.5 cm
C	4 GHz	8 GHz	7.5 cm	3.75 cm
X	8 GHz	12.4 GHz	3.75 cm	2.42 cm
Ku	12.4 GHz	18 GHz	2.42 cm	1.66 cm
K	18 GHz	26.5 GHz	1.66 cm	1.11 cm
Ka	26.5 GHz	40 GHz	11.1 mm	7.5 mm
mm	40 GHz	300 GHz	7.5 mm	1 mm

Figura 10: Espectro de bandas de microondas (www.datateca.unad.edu.co).

La Universidad Politécnica de Cataluña ha desarrollado “ARBRES” [10], un proyecto que consiguió producir dos sistemas SAR compactos de tipo CW/FM para ser operados desde pequeños UAV, obteniendo un equipo de bajo coste. Los sistemas operan uno en banda X y otro en banda C, consiguiendo una carga de pago menor a los 5 kg, y un volumen de 13.5 dm³ (con el sensor y el controlador integrados). Este proyecto resulta de gran interés para el presente TFG, pues demuestra la posibilidad de adaptación de la tecnología SAR a las necesidades y los requisitos del UAV sobre el que se acopla, a la vez que muestra resultados satisfactorios en la obtención de inteligencia.

El test experimental y las pruebas incluidas en dicho proyecto se hicieron a bordo de un avión teledirigido de 3.2 m. de longitud de ala. Las imágenes SAR de un área de estudio que posee tanto campo abierto como zona urbana fueron obtenidas y procesadas usando un algoritmo de retroproyección. En este proyecto se ha hecho énfasis en la reducción del peso y el volumen sin repercutir en la calidad de funcionamiento del radar. Por ello se ha trabajado con dos sensores independientes de transmisión y canal de recepción dual, diseñados para operar en la banda C (5.3 GHz, ARBRES-C) y en la banda X (9.65 GHz, ARBRES-X), usando una señal SLFM-CW. La Tabla 3 recoge las características básicas de ambos.

PARAMETER	C-BAND	X-BAND
Frecuencia central	5.3 GHz	9.65 GHz
Ancho de banda	50 MHz	100 MHz
PRF	20 kHz	20 kHz
Pérdida en penetración	30 dBm	30 dBm
Ganancia	hasta 70 dB	hasta 70 dB
Rango de resolución	~3 m	~1.5 m
Altura teórica	7.5 km	3.75 km

Tabla 3: Características de los SAR FMCW de banda C y banda X [10].

En la Figura 11 se muestra el sistema completo integrado ARBRES-X (225x155x90 mm³), que contiene el RF, el generador de frecuencias y la unidad de banda base.

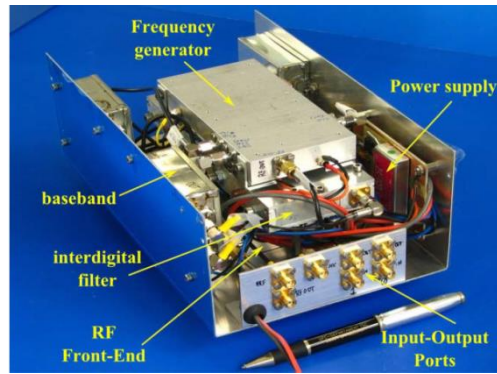


Figura 11: Módulos integrados del SAR ARBRES-X [10].

El prototipo final (unidad RF, digitalizador, computadora y baterías) pesa 5 kg, sus dimensiones son de 300 x 170 x 200 mm³, y su consumo energético es menor de 75 W. El ARBRES-C seguiría la misma estructura, pero de menor tamaño. Las antenas usadas en ambos son de tipo dirigidas.

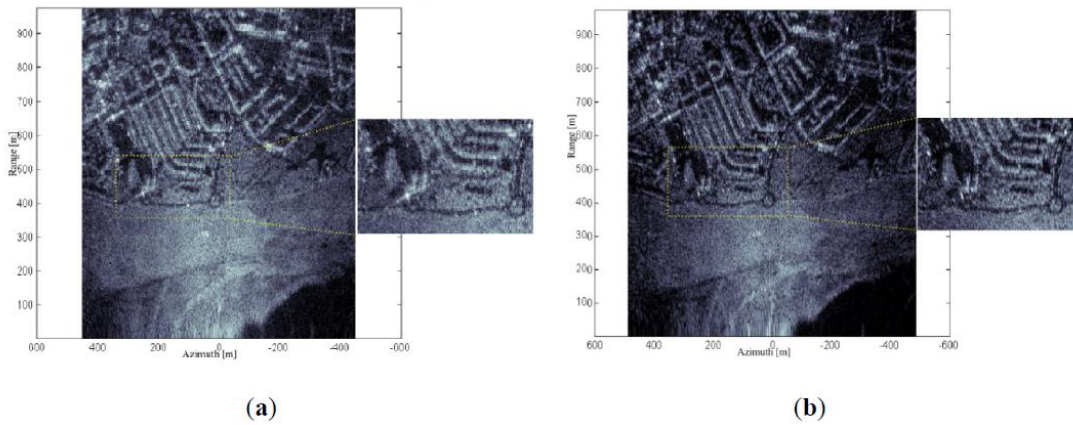


Figura 12: SLCs de banda C. (a) sin MoCo (b) con MoCo. Condiciones de vuelo: 200m altitud, velocidad 37m/s., 40 m. longitud de apertura. [10]

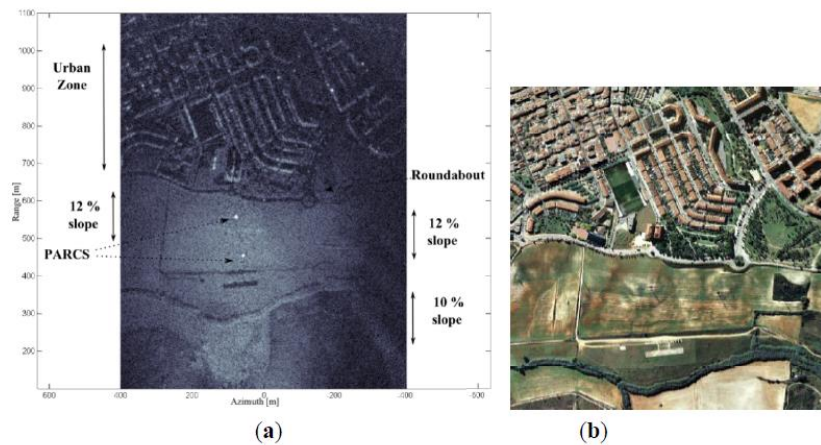


Figura 13: (a) imagen de SAR de banda X. La mejora de la resolución con respecto al SAR de banda C es notable. Condiciones de vuelo: 300m. de altitud, velocidad de 37.35 m/s., 120m. de longitud de apertura. (b) imagen de cámara óptica de referencia [10].

Tal y como se observa en la Figura 12 y en la Figura 13, los resultados obtenidos en el proyecto fueron satisfactorios, obteniendo los parámetros de imagen deseados, y consiguiendo los objetivos descritos. A pesar de la diferencia de resolución entre el SAR de banda X con respecto al de banda C, podría ser asumible a cambio de haberse conseguido disminuir el tamaño del SAR. Sin embargo aún faltaría otro salto en el sistema SAR, de manera que pueda pasar de funcionar de banda C a banda Ku.

Para conseguir los rangos mencionados en los parámetros de la señal, se requiere trabajar con una categoría tipo microSAR. Existen proyectos, como los de [9, 12, 13], que han conseguido desarrollar este tipo de SAR con éxito.

El microSAR desarrollado en [9] demuestra que un SAR de onda continua FMCW, y de banda Ku., daría buenos resultados montado a bordo de un mini-UAV. El BYU microSAR consta de un complejo de circuitos de 3 x 3,4 x 3 in. y dos antenas planas de microcinta (cada una de aproximadamente: 4 x 12 in.), que constituyen un total de menos de 2 lbs. y 16W de poder de consumo. Diseñado para operar entre 300 y 2500 ft. y entre 20 y 50 m/s, el microSAR, han sido construidos en varios tipos de banda. El pequeño tamaño del BYU microSAR (Figura 14) lo hacen apto para ser utilizado en pequeños UAV.

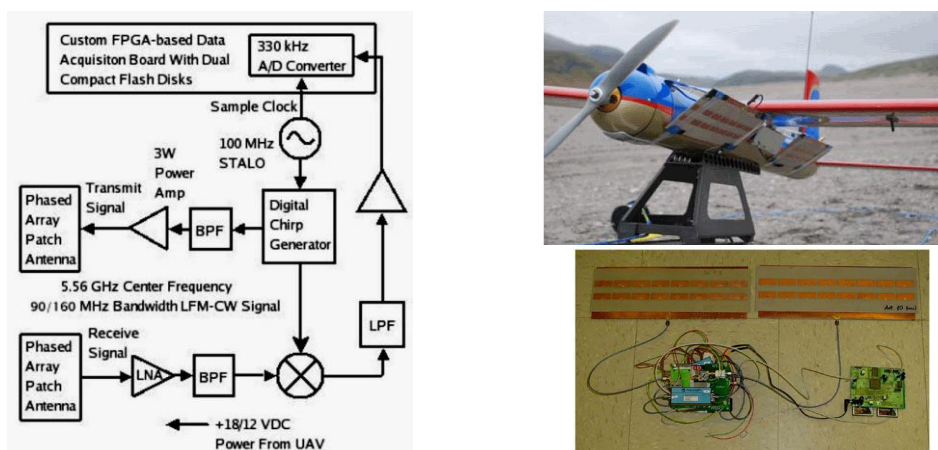


Figura 14: Diagrama de bloques de un microSAR; el microSAR físicamente y montado sobre un mini-UAV (con las antenas, de tipo plano, integradas en el exterior del fuselaje del aparato). [9]

Por otro lado, el estudio realizado en [12] muestra un SAR capaz de generar imágenes de alta calidad usando tecnología de frecuencia modulada y onda continua (FM/CW), y sus ventajas respecto a los SAR convencionales. Analiza matemáticamente cómo los SAR basados en FMCW producen imágenes comprimidas, y desarrolla un prototipo usando un generador de señal de FMCW de 10 GHz. Experimentalmente y matemáticamente se muestra que el FMCW es capaz de desarrollar dichas capacidades. El sistema microSAR diseñado se ha dividido en módulos a razón de su funcionalidad. Cada módulo está diseñado atendiendo a un interfaz general, de tal manera que los bloques deberían ser cambiados para satisfacer los cambios en los requisitos especificados para el nuevo sistema. De este modo, el Diagrama de Bloques simplificado de un sistema microSAR quedaría representado tal y como se muestra en la Figura 15. Los módulos de los que se compone son:

en el mini-UAV de la Figura 14, sería integrar antenas planas acopladas en el exterior del fuselaje del aparato UAV, reduciendo así la carga de componentes interior.

Como resultado se obtiene un sensor microSAR, con emisor-receptor de antena plana, que conforma un módulo cuya carga de pago es menor a 185 gramos (la crítica en el mini-UAV RAVEN B). Si bien el producto que se obtendría presentaría la mayoría de capacidades que hacen al SAR destacar por encima de las otras tecnologías estudiadas, no permitiría realizar interferometría, ni la onda sería capaz de penetrar la vegetación ni ciertos suelos, tal y como se describe en el apartado 4.

4.2. Problemas que se presentan y posibles soluciones

Una vez obtenido el producto final propuesto en el presente TFG, un microSAR con las características descritas en el apartado 4.1, es necesario analizar los posibles problemas que puedan surgir en el producto, y en la integración del mismo, desde todas las dimensiones posibles. De esta manera se pueden planificar posibles medidas para afrontar dichas adversidades, obteniendo finalmente una mayor probabilidad de éxito en el proyecto realizado. Los problemas que se advierten como posibles para la tecnología microSAR son:

- Derivados de la carga de pago:
 - Exceso de peso en el sensor emisor-receptor.
 - Fallo en el módulo de procesamiento de datos a bordo del UAV.
- Derivados de la baja calidad en la inteligencia obtenida:
 - Mala elección del tipo de banda (Ku).
 - Mal procesamiento de datos.
 - Tamaño o tipo de antena erróneo.
- Derivado de la pérdida de aerodinámica:
 - Mala colocación de la antena (integrada por fuera del fuselaje).
 - Mala distribución del peso del sensor emisor-receptor.
 - Carga de pago en el límite del aparato.

Para llevar a cabo lo anterior, se ha utilizado la herramienta AMFE de producto (Anexo F) [14], ya que por medio de ella se cubren todas las necesidades en los diferentes procesos a elaborar en el presente apartado. Además, de manera visual, ayuda a la comprensión del análisis realizado y muestra los ratios de mejora al aplicar las posibles medidas a los fallos planificados del producto (el microSAR), así como aquellos aspectos más críticos cuya resolución resulta más urgente. Para poder comprobar realmente la solución a los fallos y problemas planeados, se debería testear en un prototipo real, sin embargo se escapa del radio de acción del presente TFG.

En vista a los resultados del AMFE, cabe subrayar que cualquier fallo surgido supondría la inoperatividad del UAV y del microSAR. Pero las medidas para solucionarlo, al tratarse de un producto del que ya existen prototipos integrados con éxito y al conocerse el método por el cual realizar su adaptación al microSAR final propuesto en este TFG, supondrían únicamente la readaptación de los parámetros y componentes del prototipo. Con esto, el factor de posibilidad de aparición de los fallos no desaparecería, pero se reduciría en gran medida, y finalmente se conseguiría llegar al producto final con éxito.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del TFG cuya memoria se presenta ha alcanzado como producto final una propuesta de un tipo de microSAR capaz de ser integrado en el mini-UAV RAVEN B, dando así respuesta al objetivo principal planteado.

Este microSAR, poseyendo las especificaciones citadas en la Figura 17 y las características concluidas en el apartados 4 y 4.1, sería capaz de satisfacer tanto el objetivo principal como los objetivos secundarios (apartado 1.1). Incluso con la reducción de sus capacidades tras la adaptación, el microSAR sería capaz de mejorar la tecnología usada en los UAS de las Compañías de Infantería para la obtención de inteligencia, incrementando la calidad de imagen, salvando las limitaciones meteorológicas y cubriendo la necesidad de operar en modo claro-oscuro; así como de aportar nuevas dimensiones en el ámbito de la inteligencia. De este modo se satisface la finalidad para la que surgió el presente Trabajo Fin de Grado.

En relación al desarrollo del TFG, se ha precisado de ciertos cambios, tal y como se menciona en los apartados 1.4 y 1.4.1, debido a la dependencia en gran medida de las vicisitudes propias de las unidades expertas, quienes tuvieron que variar el periodo de apoyo realizado en los ejercicios. Sin embargo la planificación preventiva llevada a cabo ha servido para conseguir salvar los problemas derivados, y finalmente se ha aprovechado la situación para adquirir una posición ventajosa distinta. Gracias a ello se tuvo la posibilidad de contrastar opiniones de expertos con respecto a los resultados del presente trabajo, algo ya avanzada en aquel momento. De este modo ha sorprendido la amplia aceptación de la tecnología propuesta (SAR) entre los expertos en mini-UAV RAVEN B.

Habiendo alcanzado un producto factible y satisfactorio para los objetivos marcados, se advierte que le reportaría un gran valor añadido al presente trabajo la posibilidad de realizar pruebas físicas, con el microSAR propuesto y el mini-UAV RAVEN B, en un laboratorio tecnológico. Pero no ha sido posible disponer de ello, ni de los medios materiales para su elaboración, dadas las restricciones tanto económicas como de instalaciones en las que se ha desarrollado el presente TFG. No obstante, la debida justificación dada en la investigación, así como el respaldo que aportan otros proyectos científicos realizados en los últimos años en distintas Universidades y empresas (apartado 4 y 4.1), han servido como apoyo a los resultados. También se ha contemplado (apartado 4.2) las posibles desviaciones del producto final propuesto, dándose posibles soluciones, para intentar salvar las distancias frente a la fiabilidad de un ensayo real en laboratorio.

A pesar del gran sustento del presente TFG en los diferentes artículos científicos, que recogen diferentes proyectos elaborados por expertos en la materia, ha sido de gran ayuda para la elaboración de la investigación acudir a las entrevistas personales verbales, realizadas en el desarrollo de la misma, a personal experto de diferentes instituciones, que guardan estrecha relación con el objeto de estudio de este TFG, como es el caso del Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial, La Dirección General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa, o la Subdirección General de Programas y la Subdirección General de Planificación Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa. De este modo se dispuso de información de primera mano que pudo esclarecer ciertas competencias vitales para el desarrollo del presente TFG.

Finalmente cabe resaltar que el mini-UAV RAVEN B se encuentra en periodo de sustitución, ya que el Ministerio de Defensa, a través del programa RAPAZ, pretende salvar las obsolescencias de los UAS de las Fuerzas Armadas españolas. Esto, lejos de ser un problema, reportaría mayor valor a la integración del SAR como medio de obtención de inteligencia, pues los RPAS que actualmente se están produciendo admiten cargas de pago mucho mayores que la restringida en el mini-UAV RAVEN B, y muchos de ellos incluso presentan mayores capacidades para enfrentarse a inclemencias meteorológicas, que en el RAVEN son insalvables. Si las Compañías de Infantería poseyeran de estos medios más avanzados se podría integrar un SAR de banda C o banda X, que permitiría operar al SAR con plenas capacidades, no viéndose reducida la capacidad de penetración de la onda microonda.

7. LÍNEAS FUTURAS

Como línea de acción futura del presente TFG, y constituyendo el siguiente paso hacia una futura integración del microSAR propuesto en los UAS de la Compañía de Infantería, surge la necesidad de hacer pruebas de laboratorio de un prototipo del microSAR en un mini-UAV RAVEN B.

Tras lo mencionado al final del anterior apartado, en cuanto a la obsolescencia tecnológica de los UAS que actualmente posee el Ejército de Tierra, una de las líneas de acción futuras sería el estudio de mercado para la adquisición de nuevos UAS en las Fuerzas Armadas, de manera que pudieran integrar el SAR con plenas capacidades de operación.

Surgida de la anterior, una vez se tuvieran adquiridos los nuevos UAS de la Compañía de Infantería, o incluso de cualquier otro nivel, urgiría el estudio sobre la creación de un prototipo de SAR que se adapte a éstos, dadas las características y potencial que se concluyen en el presente TFG.

Una vez solucionadas las líneas anteriores, que serían de mayor prioridad, tal y como se ha estudiado en el presente TFG, y según se ha respaldado con las entrevistas y lecciones aprendidas de expertos, surgen otras dos líneas que también solucionarían problemas críticos. Una estaría orientada al mando y control en los UAS, pues se han advertido grandes carencias y duplicidades en su gestión (mala integración en la mallas de radiofrecuencias en las que operan los diferentes escalones de mando, apantallamiento de la señal del UAS por los inhibidores vehiculares, etc.)

La otra debería estudiar una mejora en cuanto a los equipos utilizados para dar soporte al enlace y despliegue de los sistemas UAV, ya que, tal y como se ha estudiado, dicho dispositivo debe ser lanzado manualmente y expuesto en muchas ocasiones al enemigo, mientras que ya existen actualmente plataformas de lanzamiento sobre vehículos. Por otra parte, el material a repartir entre los integrantes del equipo RAVEN anula la capacidad de portar su equipo individual de combate, debido a la complejidad y peso del mismo, lo cual desde un punto de vista táctico es inviable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Carlos Calvo González-Regueral (Coronel de Infantería DEM), Francisco Herranz, y Pedro Calvo Aguilar, *Perfiles IDS. de los UAV a los RPAS. Sistemas No Tripulados*, Madrid, febrero 2014.
- [2] Department Of Defense. United States Of America, *UNMANNED SYSTEMS INTEGRATED ROADMAP. FY2013-2038*, Ref. nº 14-S-0553.
- [3] MADOC. DIDOM, Sección de Lecciones Aprendidas: "*Operación Romeo Alfa Afganistán. Análisis de experiencias UAV*", Enero 2014.
- [4] Ejército de Tierra: Norma Operativa, *Empleo del mini UAV RAVEN B en operaciones*, Madrid: actualizada 10 agosto 2010.
- [5] Mando de Adiestramiento y Doctrina, MI-100: "*Equipo mini-UAV Raven B*", Entrada en vigor: 10-8-2015.
- [6] Prof. Javier Murillo Torrecilla et al, *LA ENTREVISTA. Metodología de investigación avanzada*, Madrid: Tecnologías de la Información y la Comunicación en Educación, Universidad Autónoma de Madrid.
- [7] <http://www.xatakahome.com/espacioprosegur/video-detectores-con-vision-nocturna-como-funciona-su-tecnologia> (Última vez visitado: 20 octubre 2016).
- [8] Juan Ramón Larrañaga Sudupe, *RADAR DE APERTURA SINTÉTICA*, Madrid: INTA, Ministerio de Defensa, Oferta Tecnológica, Ref.:49.
- [9] http://www.barnardmicrosystems.com/UAV/features/synthetic_aperture_radar (Última vez visitado: 4 octubre 2016).
- [10] Albert Aguasca, et al, *ARBRES: Light-Weight CW/FM SAR Sensors for Small UAVs*, Cataluña: Remote Sensing Lab, Department of Signal Theory and Communications, Universitat Politècnica de Catalunya, 6 de marzo de 2013.
- [11] Michael Caris, Stephan Stanko, *MM-WAVE SAR DEMONSTRATOR AS A TEST FOR ADVANCED SOLUTIONS IN MICROWAVE IMAGING*, Varsovia: Fraunhofer Institute for High Frequency Physics and Radar Techniques FHR, Warsaw University of Technology.
- [12] Ryan L. Smith, *MICRO SYNTHETIC APERTURE RADAR USING FM/CW TECHNOLOGY*, Brigham: Department of Electrical and Computer Engineering, Brigham Young University, December 2002.
- [13] Yong Wang, Liheng Lou, Bo Chen, et al, *LIVE DEMONSTRATION: A KU-BAND FMCW SYNTHETIC APERTURE RADAR TRANSCEIVER FOR MICRO-UAVS*, Singapore: School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University.

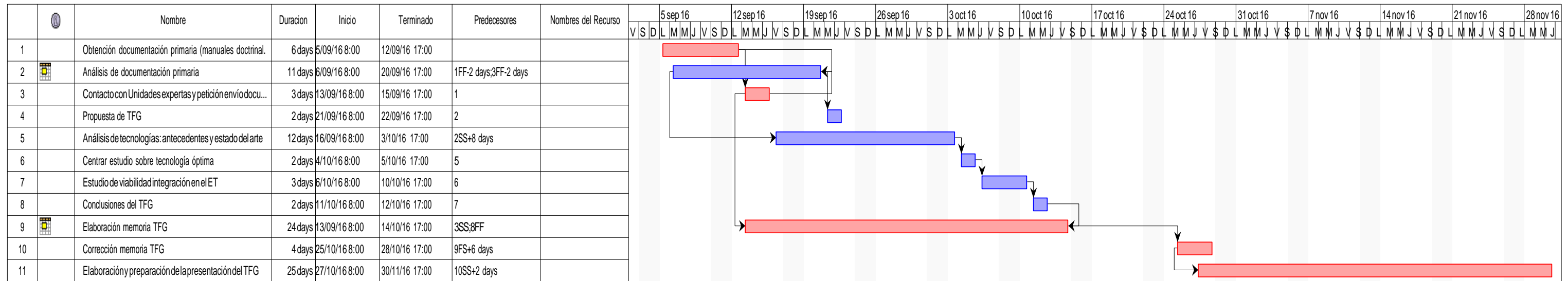
- [14] Raquel Acero, Jorge Pastor, Joaquín Sancho y Marta Torralba, "*2.6. Despliegue funcional de la calidad (QFD)*", "*4.2. Análisis modal de fallos y efectos (AMFE)*", en *Ingeniería de la Calidad*, 2º edición, Zaragoza: Centro Universitario de la Defensa, 2014.

ANEXO A: Calendario de desarrollo del TFG

CALENDARIO FASES-HITOS													
SEPTIEMBRE													
semana 1	Acogida a la Unidad. Recopilación documentación							Elaborar esquema temporal					
	05-sep	06-sep	07-sep	08-sep	09-sep	10-sep	11-sep						
	L	M	X	J	V	S	D						
semana 2	12-sep	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	Empezar memoria (estructural)					
	L	M	X	J	V	S	D						
	Final de primera recopilación info.		Contacto con Cla. INT (CG. BRILAT)										
semana 3	19-sep	20-sep	21-sep	22-sep	23-sep	24-sep	25-sep	Título-objetivo TFG (propuesta)					
	L	M	X	J	V	S	D						
	Volcado info. Manuales		Contacto con Grupo Obtención Sist. Aéreos IV/1										
semana 4	26-sep	27-sep	28-sep	29-sep	30-sep	01-oct	02-oct	Título-objetivo TFG (final)					
	L	M	X	J	V	S	D						
	Comenzar análisis estado del arte		Fin estructura memoria										
OCTUBRE													
semana 5	03-oct	04-oct	05-oct	06-oct	07-oct	08-oct	09-oct	Centrar objetivos sobre una tecnología					
	L	M	X	J	V	S	D						
	(Semana de ICON)												
semana 6	10-oct	11-oct	12-oct	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct	Terminar memoria TFG					
	L	M	X	J	V	S	D						
semana 7	17-oct	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct	22-oct	23-oct	Comenzar ppt- defensa					
	L	M	X	J	V	S	D						
semana 8	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	28-oct	29-oct	30-oct	Enviar de memoria TFG a DIRACA					
	L	M	X	J	V	S	D						
Corregir memoria-finalizar ppt													
Cumplimentar solicitud entrega memoria													

LEYENDA	
13-sep	presentación (5mins): idea, cómo orientarlo, necesidades ppales.
22-sep	visita DIRACA a UCO.
18-oct	presentación (10mins): planeamiento, investigación, esquema-índice.
	FECHA LÍMITE PROPUESTA TÍTULO TFG.
	MANIOBRAS ALFA REUNIDAS (CMT Renedo. Valladolid)-APOYO EQUIPO RAVEN

ANEXO B: Diagrama de Gantt. Distribución temporal y dependencias entre las actividades del TFG



ANEXO C: Entrevistas a expertos (mini-UAV RAVEN B)

El presente documento tiene como finalidad recoger la información que se derive fruto de la entrevista a personal experto en el uso de sistemas UAV o RPAS, o que haya tenido contacto con estos medios, ya sea en territorio nacional en las unidades especializadas con medios UAV orgánicos o en el marco de las operaciones militares en el extranjero. Además se pretende obtener una valoración personal acerca de la mejora que se pretende implementar en el mini-UAV RAVEN B. Para ello el entrevistador pondrá en conocimiento del entrevistado las características de dicha tecnología de mejora.

El entrevistado al completar esta encuesta accede a que dicha información recogida, así como el presente documento, sea empleada a todos sus efectos para la realización del mencionado Trabajo Fin de Grado (TFG). Así mismo se advierte al entrevistado que, si lo desea, el presente documento podrá ser tratado como confidencial, de manera que el depósito del TFG se haría con carácter no público.

MEJORA DE LA TECNOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE INTELIGENCIA:

Tras la investigación realizada en el presente TFG, se pretende sustituir las tecnologías de obtención de inteligencia del UAS de la Compañía de Infantería (visión electro-óptica y visión térmica) por un Radar de Apertura Sintética (SAR), capaz de no sólo mejorar la calidad y funcionalidad de la imagen obtenida, sino que también presenta nuevas funcionalidades de gran valor en la obtención de inteligencia.

(Se adjunta documento que detalla el funcionamiento y el potencial de un SAR).

(Para marcar las casillas simplemente subraye o cambie el color a la palabra o número).

ENCUESTA:

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS:

NOMBRE:

EMPLEO:

UNIDAD DE DESTINO:

Permito que la información se emplee en la elaboración del TFG: SI NO

Deseo que la información se trate como confidencial: SI NO

DATOS OPERATIVOS (SI EXPERIENCIA SURGIDA EN ZO):

NOMBRE DE LA OPERACIÓN:

PUESTO TÁCTICO:

DESCRIPCIÓN DE LA RELACIÓN QUE MANTUVO/MANTIENE CON MEDIOS UAV:

ANÁLISIS DE MEDIOS UAV:

- LIMITACIONES PERCIBIDAS EN EL MEDIO TIPO UAV:
 - En cuanto a MANDO Y CONTROL:
 - En cuanto a TERRENO Y OROGRAFÍA:
 - En cuanto a METEOROLOGÍA:
 - En cuanto al APARATO UAV:
 - En cuanto a la VISIÓN ELECTRO-ÓPTICA:
 - En cuanto a la VISIÓN TÉRMICA:
- OTRAS LIMITACIONES:
- OBSERVACIONES, SUGERENCIAS FUTURO EMPLEO UAV,S:

VALORACIÓN DE LA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA:

(Marque lo que corresponda en función de su valoración, teniendo en cuenta limitaciones, ventajas, inconvenientes, etc.; siendo 1 la más negativa, y 5 la más positiva).

- | | |
|--|----------------|
| • Tecnología de visión electro-óptica, del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología de visión térmica del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnologías de visión electro-óptica y térmica como un conjunto: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología SAR: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • RPAS mini-UAV RAVEN B, versatilidad del aparato: | 1 2 3 4 5 NSNC |

El presente documento tiene como finalidad recoger la información que se derive fruto de la entrevista a personal experto en el uso de sistemas UAV o RPAS, o que haya tenido contacto con estos medios, ya sea en territorio nacional en las unidades especializadas con medios UAV orgánicos o en el marco de las operaciones militares en el extranjero. Además se pretende obtener una valoración personal acerca de la mejora que se pretende implementar en el mini-UAV RAVEN B. Para ello el entrevistador pondrá en conocimiento del entrevistado las características de dicha tecnología de mejora.

El entrevistado al completar esta encuesta accede a que dicha información recogida, así como el presente documento, sea empleada a todos sus efectos para la realización del mencionado Trabajo Fin de Grado (TFG). Así mismo se advierte al entrevistado que, si lo desea, el presente documento podrá ser tratado como confidencial, de manera que el depósito del TFG se haría con carácter no público.

MEJORA DE LA TECNOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE INTELIGENCIA:

Tras la investigación realizada en el presente TFG, se pretende sustituir las tecnologías de obtención de inteligencia del UAS de la Compañía de Infantería (visión electro-óptica y visión térmica) por un Radar de Apertura Sintética (SAR), capaz de no sólo mejorar la calidad y funcionalidad de la imagen obtenida, sino que también presenta nuevas funcionalidades de gran valor en la obtención de inteligencia.

(Se adjunta documento que detalla el funcionamiento y el potencial de un SAR).

(Para marcar las casillas simplemente subraye o cambie el color a la palabra o número).

ENCUESTA:

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS: Sánchez Romero

NOMBRE: José Alberto

EMPLEO: Capitán

UNIDAD DE DESTINO: BIP Toledo / Regimiento Príncipe nº 3 / BRILAT

Permito que la información se emplee en la elaboración del TFG: ☒ SI ☐ NO

Deseo que la información se trate como confidencial: ☐ SI ☒ NO

DATOS OPERATIVOS (SI EXPERIENCIA SURGIDA EN ZO):

NOMBRE DE LA OPERACIÓN: ASPFOR XXVII / ASPFOR XXXII

PUESTO TÁCTICO: JEFE DE SECCIÓN / JEFE COMPAÑÍA

DESCRIPCIÓN DE LA RELACIÓN QUE MANTUVO/MANTIENE CON MEDIOS UAV:

Como Jefe de Sección, dependiendo de la operación, el Jefe de Compañía agregaba a mi Unidad dicho medio.

Como Jefe de Compañía es un medio orgánico de mi Unidad en ZO.

ANÁLISIS DE MEDIOS UAV:

- **LIMITACIONES PERCIBIDAS EN EL MEDIO TIPO UAV:**
 - En cuanto a MANDO Y CONTROL:
Durante mi estancia en ZO se presenta la dificultad que el OSC no tiene capacidad de ver las imágenes del aparato. Eso hay que recalcar que se ha solucionado y se puede replicar el video a través del sistema ISR VIDEO RECEIVER HARRIS en tiempo real. Para que pueda volar hay que tener en cuenta que hay que apagar los inhibidores de todos los vehículos por lo que el convoy tiene que estar detenido para su funcionamiento.
 - En cuanto a TERRENO Y OROGRAFÍA:
Es necesario que exista visión directa entre la antena y el avión por lo que el equipo RAVEN siempre tiene que desplegar en lugares elevados con la consecuente exposición a un posible enemigo.
 - En cuanto a METEOROLOGÍA:
Tiene una calidad de imagen muy baja en condiciones adversas, lluvia, niebla y viento. Además en la mayoría de las ocasiones ni siquiera es conveniente volarlo en dichas condiciones.
 - En cuanto al APARATO UAV:
Difícil despegue y aterrizaje si lo comparamos con los modelos actuales que permitirían dichas maniobras sin tener que lanzar el aparato.
 - En cuanto a la VISIÓN ELECTRO-ÓPTICA:
Aunque permite una imagen aceptable si que se puede decir que es fácilmente mejorable con las nuevas tecnologías desarrolladas hoy en día. Con condiciones climatológicas adversas la imagen que ofrece es muy pobre.
 - En cuanto a la VISIÓN TÉRMICA:
NIL
- **OTRAS LIMITACIONES:**

No permite uso de inhibidores
Duración de la batería
Maniobras de despegue y aterrizaje complicadas
Sistema de visión y plataforma no permiten volar el aparato o sacarle rendimiento con condiciones climáticas adversas.
Equipo muy voluminoso para ser transportado a una distancia media, larga.
- **OBSERVACIONES, SUGERENCIAS FUTURO EMPLEO UAV,S:**

Cambio de la plataforma por una más acorde al empleo táctico del medio.
Baterías con una duración mínima de 2 horas.
Frecuencia de funcionamiento fuera del margen de los inhibidores.
Sistema que replique video al OSC
Que la cámara se pueda rotar 360º en vez de las actuales cámaras lateral y frontal.
Mejor calidad de imagen.

VALORACIÓN DE LA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA:(Marque lo que corresponda en función de su valoración, teniendo en cuenta limitaciones, ventajas, inconvenientes, etc.; siendo 1 la más negativa, y 5 la más positiva).

- | | |
|--|----------------|
| • Tecnología de visión electro-óptica, del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología de visión térmica del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnologías de visión electro-óptica y térmica como un conjunto: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología SAR: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • RPAS mini-UAV RAVEN B, versatilidad del aparato: | 1 2 3 4 5 NSNC |

El presente documento tiene como finalidad recoger la información que se derive fruto de la entrevista a personal experto en el uso de sistemas UAV o RPAS, o que haya tenido contacto con estos medios, ya sea en territorio nacional en las unidades especializadas con medios UAV orgánicos o en el marco de las operaciones militares en el extranjero. Además se pretende obtener una valoración personal acerca de la mejora que se pretende implementar en el mini-UAV RAVEN B. Para ello el entrevistador pondrá en conocimiento del entrevistado las características de dicha tecnología de mejora.

El entrevistado al completar esta encuesta accede a que dicha información recogida, así como el presente documento, sea empleada a todos sus efectos para la realización del mencionado Trabajo Fin de Grado (TFG). Así mismo se advierte al entrevistado que, si lo desea, el presente documento podrá ser tratado como confidencial, de manera que el depósito del TFG se haría con carácter no público.

MEJORA DE LA TECNOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE INTELIGENCIA:

Tras la investigación realizada en el presente TFG, se pretende sustituir las tecnologías de obtención de inteligencia del UAS de la Compañía de Infantería (visión electro-óptica y visión térmica) por un Radar de Apertura Sintética (SAR), capaz de no sólo mejorar la calidad y funcionalidad de la imagen obtenida, sino que también presenta nuevas funcionalidades de gran valor en la obtención de inteligencia.

(Se adjunta documento que detalla el funcionamiento y el potencial de un SAR).

(Para marcar las casillas simplemente subraye o cambie el color a la palabra o número).

ENCUESTA:

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS: Díaz Cuyar

NOMBRE: Daniel

EMPLEO: Capitán

UNIDAD DE DESTINO: Regimiento de Infantería "Príncipe" 3

Permito que la información se emplee en la elaboración del TFG: ☒ SI ☐ NO

Deseo que la información se trate como confidencial: ☐ SI ☒ NO

DATOS OPERATIVOS (SI EXPERIENCIA SURGIDA EN ZO):

NOMBRE DE LA OPERACIÓN: R/A ASPFOR XXXII

PUESTO TÁCTICO: Jefe de Compañía de Maniobra

DESCRIPCIÓN DE LA RELACIÓN QUE MANTUVO/MANTIENE CON MEDIOS UAV:

Encuadrado en la Compañía estaba un Equipo UAV RAVEN. Se empleó durante toda la fase de despliegue en zona en las diferentes operaciones en las que participó la Compañía.

ANÁLISIS DE MEDIOS UAV:

- **LIMITACIONES PERCIBIDAS EN EL MEDIO TIPO UAV:**
 - En cuanto a MANDO Y CONTROL:
Limitado a los medios de enlace de que disponga el Equipo del UAV.
Concretamente al alejarse del vehículo se perdía al ser éste mediante Spearnet.
Dificultad de explotación de los datos concretos in situ al tener que transmitir la información por radio.
Se tenía que delegar la identificación IFF por este medio en el Jefe del Eq. al no disponer el OSC (On Scene Commander) de medios para su verificación.
Actualmente existen estos medios mediante radio Harris.
 - En cuanto a TERRENO Y OROGRAFÍA:
Radio de acción limitado a la orografía. Se localizaba durante el planeamiento el Asentamiento óptimo para su empleo. Normalmente esto suponía un anclaje al terreno grande por el tiempo que se empleaba en su entrada en posición debido a los grandes desniveles.
 - En cuanto a METEOROLOGÍA:
Muy afectado por las condiciones meteorológicas, principalmente el viento.
 - En cuanto al APARATO UAV:
Tener que bajar el aparato para cambiar la carga de pago.
Corta duración de las baterías y el tiempo de carga relativamente alto.
 - En cuanto a la VISIÓN ELECTRO-ÓPTICA:
El personal del Equipo se quejaba de una resolución baja.
 - En cuanto a la VISIÓN TÉRMICA:
Parece que tenía una resolución mejor a la electro-óptica.
- **OTRAS LIMITACIONES:** durante los momentos de orto y ocaso la utilidad del medio era relativa debido a que ninguna de las cargas de pago se adaptaba bien a estos momentos.
- **OBSERVACIONES, SUGERENCIAS FUTURO EMPLEO UAV,S:** Unidad de mucha utilidad para unidades destacadas durante una operación en cometidos de seguridad táctica y vigilancia.

VALORACIÓN DE LA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA:

(Marque lo que corresponda en función de su valoración, teniendo en cuenta limitaciones, ventajas, inconvenientes, etc.; siendo 1 la más negativa, y 5 la más positiva).

- | | |
|--|----------------|
| • Tecnología de visión electro-óptica, del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología de visión térmica del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnologías de visión electro-óptica y térmica como un conjunto: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología SAR: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • RPAS mini-UAV RAVEN B, versatilidad del aparato: | 1 2 3 4 5 NSNC |

El presente documento tiene como finalidad recoger la información que se derive fruto de la entrevista a personal experto en el uso de sistemas UAV o RPAS, o que haya tenido contacto con estos medios, ya sea en territorio nacional en las unidades especializadas con medios UAV orgánicos o en el marco de las operaciones militares en el extranjero. Además se pretende obtener una valoración personal acerca de la mejora que se pretende implementar en el mini-UAV RAVEN B. Para ello el entrevistador pondrá en conocimiento del entrevistado las características de dicha tecnología de mejora.

El entrevistado al completar esta encuesta accede a que dicha información recogida, así como el presente documento, sea empleada a todos sus efectos para la realización del mencionado Trabajo Fin de Grado (TFG). Así mismo se advierte al entrevistado que, si lo desea, el presente documento podrá ser tratado como confidencial, de manera que el depósito del TFG se haría con carácter no público.

MEJORA DE LA TECNOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE INTELIGENCIA:

Tras la investigación realizada en el presente TFG, se pretende sustituir las tecnologías de obtención de inteligencia del UAS de la Compañía de Infantería (visión electro-óptica y visión térmica) por un Radar de Apertura Sintética (SAR), capaz de no sólo mejorar la calidad y funcionalidad de la imagen obtenida, sino que también presenta nuevas funcionalidades de gran valor en la obtención de inteligencia.

(Se adjunta documento que detalla el funcionamiento y el potencial de un SAR).

(Para marcar las casillas simplemente subraye o cambie el color a la palabra o número).

ENCUESTA:

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS: GONZALEZ FERNANDEZ

NOMBRE: DANIEL

EMPLEO: CAPITAN

UNIDAD DE DESTINO: 1ª CIA DEL BIP TOLEDO II/3

Permito que la información se emplee en la elaboración del TFG: ☒ SI ☐ NO

Deseo que la información se trate como confidencial: ☐ SI ☒ NO

DATOS OPERATIVOS (SI EXPERIENCIA SURGIDA EN ZO):

NOMBRE DE LA OPERACIÓN: R/A. Rotación ASPFOR XXXII (2012-2013)

PUESTO TÁCTICO: JEFE SECCION DE FUSILES

DESCRIPCIÓN DE LA RELACIÓN QUE MANTUVO/MANTIENE CON MEDIOS UAV:

El equipo RAVEN fue desplegado bajo mis órdenes como capacitador en varias operaciones durante el transcurso de la misión.

ANÁLISIS DE MEDIOS UAV:

- **LIMITACIONES PERCIBIDAS EN EL MEDIO TIPO UAV:**
 - En cuanto a MANDO Y CONTROL:
El hecho de que el jefe no pueda interpretar las imágenes y deba fiarse de lo que el operador estima importante.
 - En cuanto a TERRENO Y OROGRAFÍA:
La necesidad del equipo RAVEN de buscar zonas elevadas para evitar el apantallamiento de la señal con el avión condiciona el despliegue y puede suponer una vulnerabilidad.
 - En cuanto a METEOROLOGÍA:
Al ser un avión tan ligero el viento condiciona la cantidad de información obtenida y su capacidad de utilización.
 - En cuanto al APARATO UAV:
Nada que reseñar, durante la misión el avión recibió impactos de fusilería en las alas y pudo continuar el vuelo sin problemas.
 - En cuanto a la VISIÓN ELECTRO-ÓPTICA:
La calidad de la imagen es discutible cuando el viento es de cierta entidad. En función del terreno puede ser difícil identificar los objetivos.
 - En cuanto a la VISIÓN TÉRMICA:
NIL

- **OTRAS LIMITACIONES:**

Despliegue a pie voluminoso, el equipo no puede llevar su equipo individual y el aparato a la vez.

- **OBSERVACIONES, SUGERENCIAS FUTURO EMPLEO UAV,S:**
 Creo necesario reducir el ruido que emite el motor para evitar la detección por parte del enemigo (Derribos en Afganistán).
 Un aparato estacionario podría dar mejor información.
 Poder utilizarlo en movimiento favorecería la maniobra y evitaría la dependencia de posiciones estáticas.
 Mejorar la comunicación aparato – estación para reducir la dependencia de posiciones elevadas cuando el terreno está muy compartimentado.
 Estoy seguro de que las baterías han evolucionado y la autonomía del aparato se puede mejorar.

VALORACIÓN DE LA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA:

(Marque lo que corresponda en función de su valoración, teniendo en cuenta limitaciones, ventajas, inconvenientes, etc.; siendo 1 la más negativa, y 5 la más positiva).

- | | |
|--|----------------|
| • Tecnología de visión electro-óptica, del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología de visión térmica del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnologías de visión electro-óptica y térmica como un conjunto: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología SAR: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • RPAS mini-UAV RAVEN B, versatilidad del aparato: | 1 2 3 4 5 NSNC |

El presente documento tiene como finalidad recoger la información que se derive fruto de la entrevista a personal experto en el uso de sistemas UAV o RPAS, o que haya tenido contacto con estos medios, ya sea en territorio nacional en las unidades especializadas con medios UAV orgánicos o en el marco de las operaciones militares en el extranjero. Además se pretende obtener una valoración personal acerca de la mejora que se pretende implementar en el mini-UAV RAVEN B. Para ello el entrevistador pondrá en conocimiento del entrevistado las características de dicha tecnología de mejora.

El entrevistado al completar esta encuesta accede a que dicha información recogida, así como el presente documento, sea empleada a todos sus efectos para la realización del mencionado Trabajo Fin de Grado (TFG). Así mismo se advierte al entrevistado que, si lo desea, el presente documento podrá ser tratado como confidencial, de manera que el depósito del TFG se haría con carácter no público.

MEJORA DE LA TECNOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE INTELIGENCIA:

Tras la investigación realizada en el presente TFG, se pretende sustituir las tecnologías de obtención de inteligencia del UAS de la Compañía de Infantería (visión electro-óptica y visión térmica) por un Radar de Apertura Sintética (SAR), capaz de no sólo mejorar la calidad y funcionalidad de la imagen obtenida, sino que también presenta nuevas funcionalidades de gran valor en la obtención de inteligencia.

(Se adjunta documento que detalla el funcionamiento y el potencial de un SAR).

(Para marcar las casillas simplemente subraye o cambie el color a la palabra o número).

ENCUESTA:

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS: Ferreirós Pérez

NOMBRE: Alejandro

EMPLEO: Cabo Primero

UNIDAD DE DESTINO: BONCGAT VII

Permito que la información se emplee en la elaboración del TFG: ☒ SI ☐ NO

Deseo que la información se trate como confidencial: ☐ SI ☒ NO

DATOS OPERATIVOS (SI EXPERIENCIA SURGIDA EN ZO):

NOMBRE DE LA OPERACIÓN: ASPFOR(2009) MALI(2014-15)

PUESTO TÁCTICO: Operador RAVEN

DESCRIPCIÓN DE LA RELACIÓN QUE MANTUVO/MANTIENE CON MEDIOS UAV:

Estuvo en misión de operador RAVEN

En Territorio Nacional como jefe de equipo RAVEN

ANÁLISIS DE MEDIOS UAV:

- LIMITACIONES PERCIBIDAS EN EL MEDIO TIPO UAV:
 - En cuanto a MANDO Y CONTROL:
Necesidad de visión directa aparato y antena, por eso vuelo con altura de seguridad
Tantas emisiones de radio le afectan, muchas mallas (Convoyes)
Parte frecuencias no valen
 - En cuanto a TERRENO Y OROGRAFÍA:
En África por la densidad de aire seca costaba mucho elevarlo
Necesidad de dar una altura máxima y poner altura seguridad
 - En cuanto a METEOROLOGÍA:
No tiene problema con humedad
Problemas con nieve y agua
 - En cuanto al APARATO UAV:
Cámaras mayor calidad, rotación cámara para no perder objetivo
Impermeable
Mejorar refrigeración del aparato
 - En cuanto a la VISIÓN ELECTRO-ÓPTICA:
Más zoom, rotación cámara
Mejor calidad, mejorar colorimetría (no distingue colores)
 - En cuanto a la VISIÓN TÉRMICA:
Zonas humedad, con niebla y lluvia afectan muchísimo a visibilidad
Momentos penumbra mala imagen
- OTRAS LIMITACIONES:
Capacidad transmisión datos, despliegues más grandes del alcance real
- OBSERVACIONES, SUGERENCIAS FUTURO EMPLEO UAV,S:
Necesidad de un aparato con mayor alcance, integración con artillería morteros, no reconoce bien objetivos o zonas de caída

VALORACIÓN DE LA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA:

(Marque lo que corresponda en función de su valoración, teniendo en cuenta limitaciones, ventajas, inconvenientes, etc.; siendo 1 la más negativa, y 5 la más positiva).

- | | |
|--|----------------|
| • Tecnología de visión electro-óptica, del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología de visión térmica del mini-UAV RAVEN B: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnologías de visión electro-óptica y térmica como un conjunto: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • Tecnología SAR: | 1 2 3 4 5 NSNC |
| • RPAS mini-UAV RAVEN B, versatilidad del aparato: | 1 2 3 4 5 NSNC |

ANEXO D: Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la EO, IR y SAR

DAFO 1: Cámara electroóptica [4] [1] [2] [3].

DEBILIDADES	FORTALEZAS
<ul style="list-style-type: none"> • La utilización de redes miméticas y otros elementos similares limitan su efectividad. • No pueden penetrar nieblas o humos aunque sean ligeros. • Limitado por el terreno o la vegetación. • Limitado a horas diurnas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona una vista familiar del escenario. • Buena resolución de imagen, contando, además, con tres niveles de zoom. • Facilita el análisis de las imágenes. • Gran campo de visión.
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio características enemigo en futuro (mayor capacidad militar, medios AA, etc.). • Obsolescencia temprana (rápido avance tecnológico). • Medios IR con imágenes de alta resolución. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carácter conjunto-combinado de las operaciones (no competitividad de mercado). • Enemigo actual asimétrico (no amenaza enemiga sobre estos medios).

Como se puede observar, la tecnología EO posee una gran capacidad en cuanto a nitidez y calidad de imagen, sin embargo su poder de penetración es nulo, ya que es un medio pasivo de visión. El mercado en el que está integrada no presenta una amenaza, pero preocupa la obsolescencia temprana y que los medios activos, como la cámara IR térmica, puedan desarrollar una imagen de resolución mayor.

DAFO 2: Cámara infrarroja térmica [4] [1] [2] [3].

DEBILIDADES	FORTALEZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Pierde efectividad durante el cambio térmico diario (1 ó 1,5 horas después del amanecer y el anochecer). • El mal tiempo degrada su calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectivo contra el camuflaje. • Puede ser utilizado durante el día y la noche.
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio características enemigo en futuro (mayor capacidad militar, medios AA, etc.). • Obsolescencia temprana. • Aparición de nuevas tecnologías radar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carácter conjunto-combinado de las operaciones (no competitividad de mercado). • Enemigo actual asimétrico (no amenaza enemiga sobre estos medios).

Tras el análisis anterior se advierte la gran importancia que posee la tecnología IR, ya que podrían completar a la EO salvando gran parte de sus limitaciones. Sin embargo las condiciones meteorológicas adversas degradan mucho su calidad. El mercado en el que está integrada no presenta una amenaza, pero preocupa la obsolescencia temprana.

DAFO 3: Tecnología SAR (para pequeños UAV) [8] [9] [10].

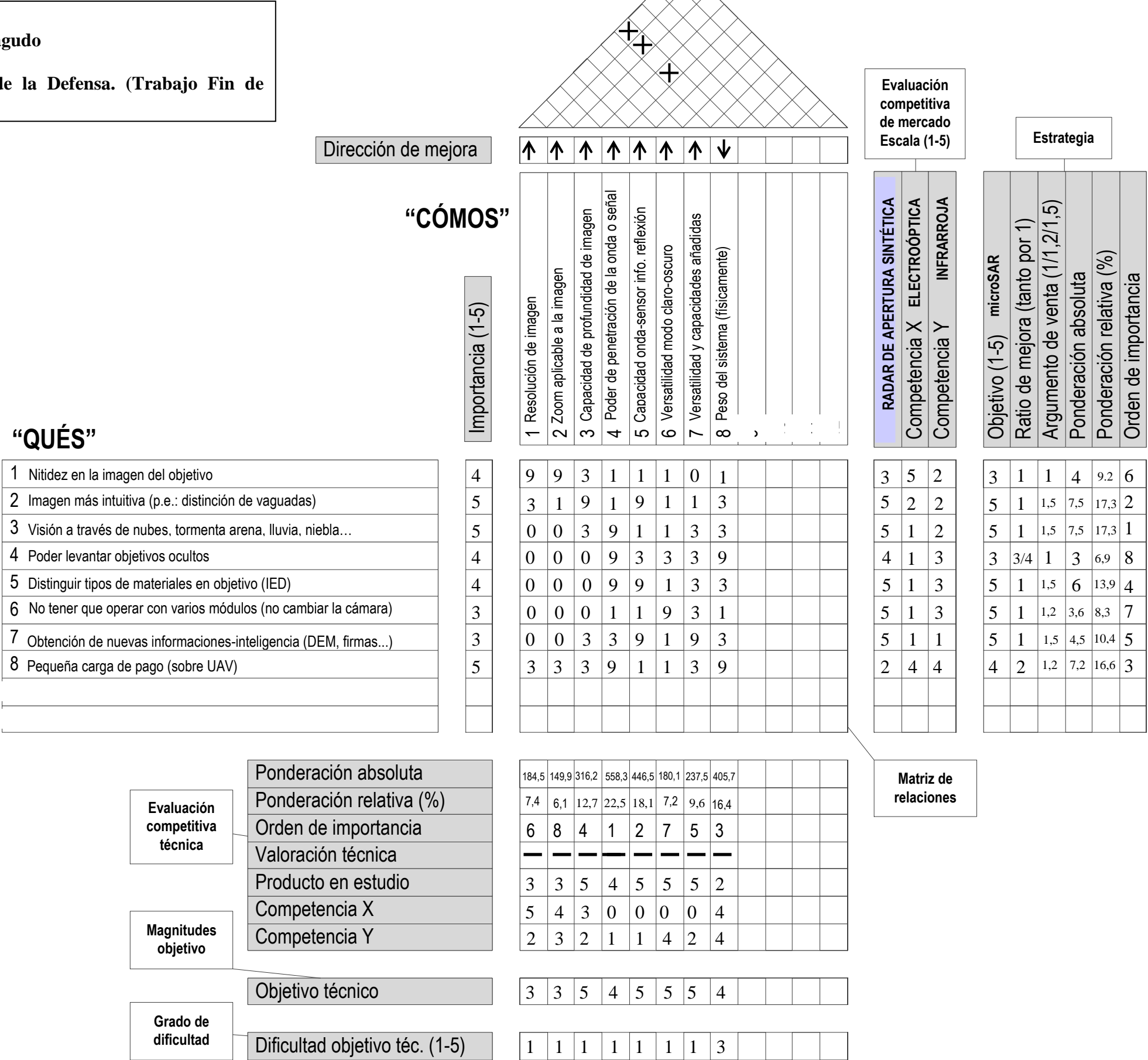
DEBILIDADES	FORTALEZAS
<ul style="list-style-type: none">• Necesidad de crear un producto nuevo.• Pérdida de propiedades de interferometría si se disminuye mucho el tamaño del sar las antenas empleadas (miniSAR y microSAR).• Pérdida de poder de penetración a medida que se incrementa la banda y las longitudes de onda (microSAR).	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de operar independientemente de las condiciones meteorológicas.• Capacidad de operar en modo claro y modo oscuro.• Capacidad de operar en distintas bandas sobre una misma escena.• Detección de blancos móviles.• Interferometría y polarimetría.
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none">• Cambio características enemigo en futuro (mayor capacidad militar, medios AA, etc.).	<ul style="list-style-type: none">• Carácter conjunto-combinado de las operaciones (no competitividad de mercado).• Enemigo actual asimétrico.

Observando este análisis se puede concluir que la tecnología SAR por sí sola es capaz de salvar la mayor parte de las limitaciones tanto de la EO como de la IR, aún incluso al disminuir el ancho de banda, y por extensión poder de penetración, para poder crear un microSAR.

ANEXO E: QFD con las tecnologías EO, IR y SAR.

Integrantes del grupo:
1) CAC. Pedro Lombardero Monteagudo

Compañía: Centro Universitario de la Defensa. (Trabajo Fin de Grado).



<p>Observaciones y conclusiones de la realización de la primera fase del Despliegue Funcional de la Calidad (QFD)</p> <p>CUMPLIMENTACIÓN DE DATOS:</p> <ul style="list-style-type: none">• Los "QUÉS" han sido sintetizados de los requisitos, limitaciones y propuestas extraídas tanto de los manuales y documentos doctrinales [5] [3] [4], como de las entrevistas efectuadas a expertos en el presente TFG.• Los "CÓMOS", traducción técnica de los "QUÉS", han sido deducidos tras estudios realizados para el presente TFG.• En todos los valores numéricos, por tratarse de tecnologías con diferentes técnicas, se han utilizado cuantificaciones cualitativas, con rangos del 1 al 5 (siendo el 1 el valor más negativo, y el 5 el más positivo). <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none">• Se observa que el orden de importancia de los "QUÉS" corresponde con la opinión de expertos extraída de las lecciones aprendidas en operaciones, y de las entrevistas personales.• Se observa que el orden de importancia de los "CÓMOS" guarda coherencia con respecto al orden de importancia de los "QUÉS".• En cuanto al orden de importancia de ambos se extrae que, para escoger la tecnología a integrar como mejora de los medios de obtención de inteligencia en el mini-UAV RAVEN B, se ha de elegir una tecnología capaz de obtener imágenes e información independientemente de la meteorología, así como que muestre versatilidad en la inteligencia recogida, siendo una gran restricción, por limitación del aparato UAV, la carga de pago.• La tecnología SAR demuestra ser la óptima tras la comparativa, presentando una ventaja notable respecto a las otras (EO e IR).• En cuanto a la mejora o rediseño del SAR, obteniéndose un microSAR capaz de integrarse en un mini-UAV RAVEN B, el objetivo es reducir la carga de pago del producto de manera que se mantengan el resto de características técnicas. Se asume el riesgo de que la capacidad de penetración de la onda electromagnética emitida disminuya en un cierto orden (limitación de poder atravesar capas de objetos de media densidad, como por ejemplo vegetación).	
---	--

ANEXO F: AMFE de producto del SAR

Producto	División de los fallos	modo de fallo	Efecto del fallo	G	Causas potenciales	O	Medidas de detección	D	NPR	Acciones recomendadas	Responsable	Acciones tomadas	G	O	D	NPR
MicroSAR (para mini-UAV RAVEN B)	Carga de pago	Exceso de peso en sensor emisor-receptor	UAV no capaz de despegue	10	Mal cálculo de parámetros del micro SAR	3	Revisión de cálculos de parámetros	2	60	Adaptar el microSAR sacrificando capacidades por carga de pago menor	DGAM (órgano de contratación) y empresa investigadora	Nuevo microSAR de menos "potencia" y menor carga de pago	10	1	2	20
		Módulo de procesado de datos a bordo del UAV	UAV no capaz de despegue	10	Exceso de peso por tener el procesador a bordo	3	Revisión de cálculos de parámetros	2	60	Adaptar el microSAR sacrificando capacidades por carga de pago menor		Nuevo microSAR de menos "potencia" y menor carga de pago	10	1	2	20
	Baja calidad en obtención inteligencia	Tipo de banda (Ku)	Pérdida en la capacidad de penetración de la onda EM	4	Banda demasiado grande requisitos de obtención	3	Revisión de cálculos de parámetros	2	24	Adaptar el microSAR sacrificando capacidades por carga de pago		Nuevo microSAR de menos "potencia" y menor carga de pago	4	1	2	8
		Mal procesado de datos	Imposibilidad de obtener inteligencia de los datos obtenidos	9	Velocidad de procesamiento y transmisión del UAV inadecuada	3	Revisión de cálculos de parámetros	2	54	Adaptar el microSAR sacrificando capacidades por carga de pago menor		Nuevo microSAR de menos "potencia" y menor carga de pago	9	1	2	18
		Tamaño/tipo de antena	Pérdida de calidad en la imagen e información obtenidas	6	Mala elección de la antena integrada	3	Revisión de cálculos de parámetros	3	54	Búsqueda de nuevo tipo o tamaño de la antena		Nueva antena que cumpla requisitos	6	1	3	18
	Pérdida aerodinámica	Antena integrada por fuera del fuselaje	UAV incapaz de mantener trayectoria deseada	9	Mal cálculo de aerodinámica exterior	5	Revisión del cálculo de aerodinámica	5	225	Búsqueda de nuevo tipo o tamaño de la antena		Nueva antena que cumpla requisitos	9	2	5	90
		Mal reparto del peso del sensor emisor-receptor	UAV incapaz de mantener trayectoria deseada	9	Mal cálculo del reparto del peso del sensor	5	Revisión del cálculo de aerodinámica	5	225	Adaptar el microSAR sacrificando capacidades por carga de pago menor		Nuevo microSAR de menos "potencia" y menor carga de pago	9	2	4	72
		Carga de pago en el límite del aparato UAV	UAV incapaz de mantener estabilización para operar	7	Mal cálculo de parámetros del micro SAR	6	Revisión de cálculos de parámetros	2	84	Adaptar el microSAR sacrificando capacidades por carga de pago menor		Nuevo microSAR de menos "potencia" y menor carga de pago	7	1	11	77